

Lei 30,—

ISBN 973-30-1233-5

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI ȘTIINȚEI

ASTRONOMIE

XII

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ—BUCUREȘTI 1991



GHEORGHE CHIȘ

Astronomie

MANUAL PENTRU CLASA a XII-a

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI ȘTIINȚEI

GHEORGHE CHIȘ

ASTRONOMIE

MANUAL PENTRU CLASA A XII-A



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ – BUCUREȘTI, 1991

Manualul a fost elaborat în anul 1965.

Actuala ediție este revizuită de prof. univ. dr. IERONIM MIHĂILĂ.

I.S.B.N. 973—30—1233—5

Redactor: prof. CRISTINA-PAULA MARIN

Tehnoredactor: DAN LUPU

Coperta: CONDACCI C.

INTRODUCERE

1. Obiectul astronomiei

Astronomia* este știința care studiază mișcările, structura și evoluția corpurilor cerești, și sistemelor formate de ele.

Este una din cele mai vechi științe și a apărut din nevoile practice. Omul primitiv — păstor sau agricultor — a observat pe cer stelele. A văzut că nu sînt uniform răspîndite, ci sînt grupate în diferite configurații, pe care le-a numit constelații. Disparația și reapariția succesivă a constelațiilor îi dădeau indicații despre începutul anotimpurilor, deci îi dădeau posibilitatea să se orienteze în muncile sale. Deplasarea turmelor prin stepe, a caravelor prin pustii, a corăbiilor pe apă necesita puncte de reper vizibile. Stelele, Soarele și Luna sînt asemenea repere. Deci, corpurile cerești i-au oferit omului repere referitoare la timp și spațiu, pe care le utiliza pentru necesități practice. Omul a început să observe aceste corpuri, să le studieze. Astfel a apărut astronomia.

Cînd și unde? Oriunde a fost cerută de necesități și la epoca cînd dezvoltarea forțelor de producție a pretins acest lucru. Apare în Chaldea, Egipt, India, China sau America Centrală, dar la epoci diferite.

Azi, astronomia ne ajută încă la orientarea pe mare, în văzduh sau pe uscat. Mai mult, astronomia ne permite să stabilim unitățile de timp, ora exactă, calendarul și să prevedem o serie de fenomene naturale (eclipse, apariția cometelor, flux-reflux, fazele Lunii etc.). Din studiul astrilor, în special al Soarelui, rezultă proprietățile materiei în condiții diferite de cele terestre. Elementul heliu a fost descoperit prima oară în atmosfera Soarelui.

Astronomia, alături de alte științe, ne dă posibilitatea de a cunoaște natura și manifestările ei, legile ei, ne ajută să ne formăm o concepție justă despre lume.

2. Structura Universului

Din cele mai vechi timpuri oamenii au observat că stelele răsar și apun. Au dedus, așa cum le indicau simțurile, că ele se rotesc în jurul Pămîntului imobil, că Luna și Soarele se mișcă față de ansamblul stelelor și că Pămîntul se află în centrul lumii.

* Cuvîntul *astronomie* provine de la cuvintele grecești *astron* — astru și *nomos* — lege.

Datorită distanțelor mari, aștrii apar ca niște corpuri de formă imuabilă, de unde ideea că aceste corpuri sînt formate din materie cerească neschimbătoare, în opoziție cu materia pămîntească, supusă transformărilor. Atît de puternic era înrădăcinată această concepție greșită, încît atunci cînd cometele au fost văzute că își schimbă nu numai poziția, ci și forma, ele au fost considerate ca fiind fenomene atmosferice, ca și curcubetul.

Odată cu dezvoltarea științelor naturii, rațiunea umană s-a impus simțurilor, înlocuind aparențele prin realitatea confirmată de observații.

Astfel, încă din secolul al XVI-lea Copernic a arătat că Pămîntul se rotește în jurul axei sale. Pămîntul împreună cu celelalte planete au mișcări de revoluție în jurul Soarelui, care domină prin masa sa mult mai mare și prin rolul său de sursă de lumină și căldură. Giordano Bruno a susținut nemărginirea lumii, presupunînd că există și alte corpuri locuite. Galileo Galilei, cu prima lunetă astronomică pe care a construit-o, constată asemănări în natura Pămîntului și a Lunii, iar analiza spectrală aplicată în astronomie în a doua jumătate a secolului al XIX-lea a dovedit că materia în Univers este aceeași, avînd la bază aceleași elemente chimice. Soarele este o stea oarecare a unei mari îngrămădiri stelare, numită Galaxie.

Pe baza observațiilor de veacuri ale omenirii, azi sîntem în măsură să dăm un tablou al structurii acelei părți din Univers care este accesibilă observațiilor noastre.

Pămîntul este un corp aproape sferic, cu raza medie de 6 370 km, care rotindu-se în jurul axei sale cu perioada de aproximativ 24 de ore, ne poartă prin fața cerului înstelat, dîndu-ne falsa impresie a rotației acestuia. Primește energie de la uriașa masă a Soarelui, care este de 333 000 de ori masa Pămîntului. Această uriașă masă impune atît Pămîntului cît și celorlalte corpuri asemănătoare — planetele — mișcări de revoluție, în baza legii atracției universale.

Deci Soarele este centrul sistemului nostru planetar. Este astrul dător de energie, avînd pe suprafață temperatura de 6 000 K. Raza sa este egală cu 109 raze terestre, fiind aflat la o distanță de aproximativ 150 milioane km de Pămînt, distanță parcursă de raza de lumină în circa 8 minute.

În jurul Soarelui gravitează 9 planete mari, corpuri reci fără lumină proprie, care sînt văzute datorită luminii solare pe care o reflectă. Cea mai mică planetă este Mercur, avînd raza egală cu aproximativ o treime din raza terestră (0,37 R), iar cea mai mare Jupiter are raza egală cu 11 raze terestre. Măsurînd distanțele astronomice prin timpul necesar luminii de a le parcurge cu viteza sa de circa 300 000 km/s, Mercur se află la numai 3 minute de Soare, în timp ce planeta cea mai îndepărtată, Pluton, se află la distanță de aproape 7 ore. Materia din acest spațiu cu raza de 7 ore formează sistemul solar.

În jurul majorității planetelor gravitează sateliții lor. Pămîntul are un satelit natural, Luna, cu raza egală cu 0,27 raze terestre, și un număr din ce în ce mai mare de sateliți artificiali, creații ale rațiunii omului. Sistemul solar numără 59 de sateliți naturali.

Între planetele Marte și Jupiter se mișcă peste 2 000 de corpuri mici, care au mișcări de revoluție în jurul Soarelui și care provin probabil din dezagregarea unei planete mari. Ele se numesc planete mici.

Mai există sute de comete, dintre care majoritatea apar la intervale regulate de timp, apoi o puzderie de corpuri de dimensiuni foarte variate, de la mase de mii de tone pînă la acelea de ordinul miligramelor, numite materie meteorică. Ele se pun în evidență în trecerea lor prin atmosfera terestră, unde se aprind datorită frecării cu aerul.

Printre aceste corpuri se află materia rarefiată, de gaze și pulberi, numită materie interplanetară.

Toate celelalte corpuri vizibile pe cer sînt stelele, imense sfere gazoase incandescente, ca și Soarele, care este o stea relativ mică. Astfel, stelele Betelgeuse din constelația Orion și Antares din constelația Scorpionul au diametrul de 300, respectiv de 500 ori mai mare decît al Soarelui. Stelele se găsesc la distanțe imense de noi: cea mai apropiată, Proxima Centauri, fiind la 4 ani lumină, iar cele mai îndepărtate ce pot fi observate cu instrumentele actuale sînt la zeci de mii de ani lumină. Unele stele au sisteme planetare (61 Lebăda etc.).

Stelele sînt formate dintr-un singur corp — stele simple — sau din două sau mai multe corpuri — stele duble și multiple.

Stelele nu sînt distribuite uniform în spațiu, putîndu-se prezenta sub formă de îngrămădiri distincte, numite roiuri stelare, deschise (cum sînt Pleiadele) sau globulare (ca roiul M 13 din Hercule).

Spațiul dintre stele nu este gol, ci ocupat de materie interstelară, formată din gaze și praf, care uneori iluminată de stele ne apare sub forma unei pete luminoase difuze, numită nebuloasă.

Toate stelele vizibile împreună cu materia interstelară dintre ele formează o îngrămădire uriașă, numită galaxie. Ea are formă lenticulară cu axa mare de 100 000 de ani lumină și axa mică — 16 000 de ani lumină. Numărul stelelor din galaxie se evaluează la 150 de miliarde.

În afară de Galaxia noastră mai sînt catalogate circa 101 miliarde de galaxii. Printre acestea, Galaxia din Andromeda, M 31, aflată la distanța de 2 milioane ani-lumină, este vizibilă cu ochiul liber din țara noastră. Galaxiile la rîndul lor se grupează în grupuri și roiuri de galaxii. Între ele există materie foarte rarefiată, numită materie intergalactică, sub formă de stele și pulberi.

Această imensă materie accesibilă observației se numește Metagalaxie. În prezent, galaxia cea mai îndepărtată observată optic se află la 5 miliarde ani lumină (o galaxie din constelația Boarului). Radioastro-

nomia — pe calea undelor radio — detectează galaxii pînă la distanțe de cîteva ori mai mari ca cele ale galaxiilor detectate optic.

Să încercăm să exprimăm în cifre repartiția materiei în Metagalaxie.

Raza sistemului solar, pînă la limita exterioară a brîului cometar este de circa 150 000 de unități astronomice (considerînd ca unitate astronomică distanța medie de la Pămînt la Soare), adică de 2×10^{18} cm, aproximativ 2 ani lumină.

Marea majoritate a masei sistemului planetar (99,86%) fiind concentrată în Soare, dacă vom reduce volumul Soarelui la 1 cm^3 sistemul solar s-ar reprezenta printr-o sferă cu un volum de 10^{22} cm^3 . Deci în sistemul solar avem 1 cm^3 de materie la 10^{22} cm^3 ca o picătură de ploaie într-o sferă cu raza de 65 km. Aceasta este densitatea medie a materiei în Galaxie (deoarece distanța medie dintre stele fiind de 4—5 ani lumină, putem considera Galaxia ca fiind umplută cu sfere tangente, avînd razele de ordinul celor 2 ani lumină).

Distanța medie dintre galaxii este de ordinul unui milion de ani lumină, deci ar rezulta 1 cm^3 de materie la $10^6 \times 10^{22} = 10^{28} \text{ cm}^3$. Considerînd materia neorganizată ca fiind cel mult egală cu aceea îngrămadită în stele, în Metagalaxie revine 1 cm^3 de materie la $5 \times 10^{27} \text{ cm}^3$.

În Metagalaxie există cam o sută de miliarde de galaxii, care, după exemplul Galaxiei noastre, au în medie o sută de miliarde de stele. De aici numărul total al stelelor din Metagalaxie: 10^{22} stele.

Este de remarcat că Metagalaxia este o mică parte din Universul infinit în timp și spațiu.

SFERA CEREASCĂ ȘI ROTAȚIA EI

1. Sfera cerească

Într-o noapte senină, un observator vede cerul înstelat ca o boltă sferică. I se pare că toate stelele se află la aceeași distanță, impresie greșită, deoarece stelele se află la distanțe foarte diferite.

Urmărind o stea în timpul unei nopți, vedem că ea se ridică, mereu deasupra orizontului pînă ce culminează, adică se găsește la înălțimea maximă, apoi coboară și dispăre sub orizont. Repetînd observația cu alte stele, ajungem la concluzia că stelele nu-și schimbă pozițiile reciproce, dar întreg ansamblul lor se rotește în jurul nostru, de la răsărit spre apus. În nopțile următoare se repetă aceeași mișcare. De aici rezultă deci a doua aparență, aceea a mișcării de rotație a cerului, numită mișcare diurnă.

Din cele mai vechi timpuri s-a observat că, alături de marea majoritate a astrilor — stelele — care aparent nu-și schimbă pozițiile reciproce, există aștri care se deplasează printre stele. Aceștia au fost numiți planete (adică rătăcitoare).

Stelele nu sînt uniform răspîndite pe sfera cerească, ci se pot distinge anumite grupuri sau constelații, cărora li s-au dat încă din vechime denumiri, ca: Ursa Mare, Leul, Hercule etc. Stelelor mai strălucitoare li s-au dat nume, ca: Sirius, Vega etc., iar celorlalte stele cîte o literă din alfabetul grecesc, urmată de denumirea constelației (ca α din Ursa Mare). Mai tîrziu, stelele au fost înscrise în cataloage de stele pe baza pozițiilor lor, dîndu-se fiecăreia cîte un număr de ordine.

Oriunde ne-am deplasa, spre răsărit sau spre apus de locul unde ne aflăm, bolta cerească apare aceeași. Dacă ne-am deplasa spre miazăzi sau miazănoapte, am vedea că apar unele din constelații, iar în partea opusă dispar alte constelații. Bolțile cerești aparente, văzute din diferite localități, se contopesc într-o singură suprafață sferică, pe care se află aparent toate stelele și față de care dimensiunile Pămîntului află^t în centrul ei sînt neglijabile. Această sferă aparentă se numește sfera cerească.

Astfel ni se pare că sfera cerească execută o mișcare diurnă de la răsărit spre apus (în sens trigonometric negativ, numit în astronomie sens retrograd). Mai observăm că această mișcare este uniformă. Vom vedea mai departe că în realitate Pămîntul este cel care execută mișcarea de ro-

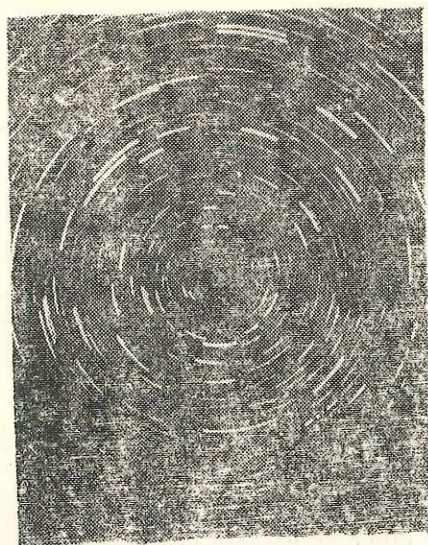


Fig. 1. Fotografia părții nordice a cerului obținută cu un aparat fotografic ținut nemișcat și deschis timp de o oră.

Planul perpendicular pe axa lumii ce trece prin centrul O al sferei cerești, deci prin centrul Pământului, taie sfera cerească după un cerc mare EE' , numit *ecuator ceresc*. Firul cu plumb, într-un loc dat, ne dă direcția *verticalei* aceluia loc. Această dreaptă intersectează sfera cerească în două puncte: unul Z , deasupra capului, numit *zenit*, iar al doilea N , diametral opus primului, numit *nadir* (fig. 2). Planul perpendicular pe verticala locului, într-un punct dat de pe Pământ, se numește *planul orizontului*. El taie sfera cerească după un cerc mare HH' , numit *orizont matematic*.

Planul determinat de axa lumii și verticala locului taie sfera cerească după *meridianul locului* (cercul mare $PZZP'$) și planul orizontal după *meridianul locului*. Ea taie orizontul în două puncte: punctul nord (H'), de aceeași parte cu polul nord, și punctul sud (H), diametral opus.

O stea în mișcarea sa diurnă aparentă descrie un cerc paralel cu ecuatorul, numit *paralel ceresc*. El taie me-

tație de la apus spre răsărit (sens trigonometric pozitiv, numit sens direct)*.

Datorită mișcării diurne vedem stelele descriind cercuri paralele, ale căror centre se află pe o dreaptă numită *axa lumii*. Ea este prelungirea axei de rotație a Pământului. Axa lumii intersectează sfera cerească în două puncte fixe, numite *polii cerești*.

Rotația sferei cerești se poate pune ușor în evidență dacă îndreptăm un aparat fotografic spre pol și facem o expunere de o oră. Pe placă, fiecare stea va descrie câte un arc de cerc cu atât mai mare, cu cât este mai departe de pol (fig. 1). Mediatoarele coardelor acestor arce se intersectează într-un punct, care este *polul nord*.

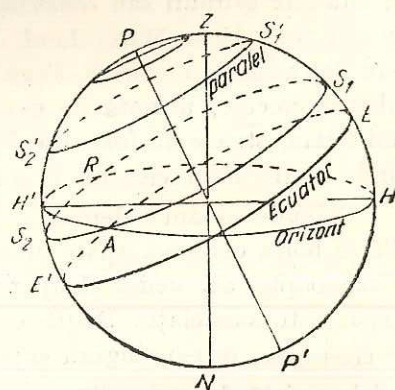


Fig. 2. Elementele sferei cerești.

ridianul locului în două puncte: unul la sud de pol, numit punctul de culminație superioară (S_1), altul la nord de pol, numit punctul de *culminație inferioară* (S_2) a steii. Intersecțiile cu orizontul ale paralelului descris de stea sînt: *punctul de răsărit* (R) și *punctul de apus* (A) al steii.

Unele stele, aproape de poli, descriu cercuri aflate în întregime deasupra orizontului (cercul $S_1 S_2$). Acestea sînt *stele circumpolare*. Celelalte sînt *stele cu răsărit și apus*.

2. Coordonate cerești

Poziția unui punct pe o sferă se poate determina cu ajutorul a două unghiuri, tot așa cum se procedează la determinarea poziției unui punct pe suprafața Pământului; unul într-un plan ce trece prin centrul sferei, ales ca plan fundamental, iar al doilea într-un plan dus prin punctul dat și prin centrul sferei și perpendicular pe cel fundamental. Valorile numerice ale acestor două unghiuri se numesc *coordoanatele punctului dat*.

a. *Coordoanatele orizontale* au ca plan fundamental planul orizontului. Vom mai considera și planul vertical al steii, adică planul dus prin stea și verticala locului. El taie sfera după cercul mare ZSN , numit *verticalul steii* (fig. 3).

Coordoanatele orizontale ale unui punct al sferei cerești sînt:

— *azimutul* (A), care este unghiul HOB , format de direcția sud (de la pol spre zenit) a meridianului locului cu verticalul steii. Se măsoară în sens retrograd, de la direcția sud a meridianului locului, de la 0° la 360° ;

— *înălțimea deasupra orizontului* (h), care este unghiul SOB , format de raza OS cu planul orizontului. Se măsoară de la orizont spre zenit, de

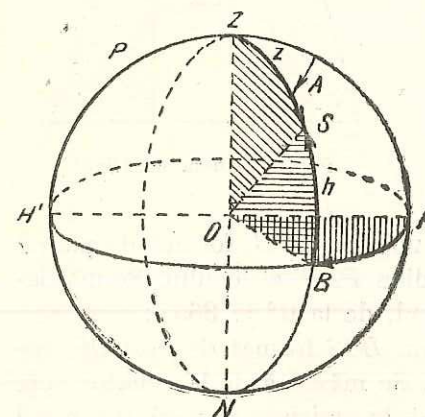


Fig. 3. Coordonatele orizontale.

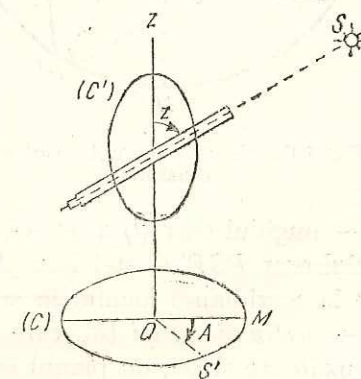


Fig. 4. Schema instrumentului universal.

la 0° la 90° și de la orizont spre nadir, de la 0° la 90° . În locul acestei coordonate se utilizează adesea complementul ei, numit *distanța zenitală* (z), care este unghiul ZOS , format de verticala locului cu raza OS corespunzătoare steii. Se măsoară de la zenit spre nadir, de la 0° la 180° .

* Perioada de rotație a Pământului este de 86164 secunde, deci de aproximativ 24 ore (86400 s).

Aceste coordonate se determină ușor cu ajutorul unor instrumente simple, numite *instrumente universale* (analoge cu teodolitul).

Instrumentul universal constă dintr-o lunetă care se poate mișca:

- în jurul unei axe verticale, deplasările fiind citite pe cerul orizontal (C) — citiri azimutale;

- în jurul unei axe orizontale, deplasările verticale fiind citite pe un cerc vertical (C') — citiri zenitale (fig. 4).

Ușor de măsurat, coordonatele orizontale prezintă neajunsul că sînt variabile, depinzînd atît de momentul observației (din cauza mișcării diurne), cît și de locul observației (prin meridianul locului).

b) În vederea stabilirii unui sistem de coordonate caracteristice stelei independent de momentul și de locul observației, alegem ca plan fundamental *planul ecuatorului*. Mai considerăm planul care trece prin astru și prin axa polilor, numit *plan orar* al stelei. Acesta taie sfera cerească după un cerc mare PSP' , numit *cercul orar* al stelei (fig. 5).

Coordonatele orare ale unei stele sînt:

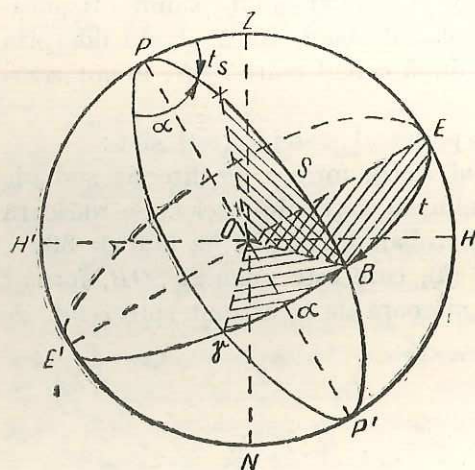


Fig. 5. Coordonatele orare și coordonatele ecuatoriale.

- unghiul orar (t) al stelei, care este unghiul EOB , format de planul cercului orar PSP' al stelei cu planul meridian PZP' al locului. Se măsoară de la meridianul locului în sens retrograd, de la 0° la 360° ;

- *declinația stelei* (δ), care este unghiul BOS format de raza OS , corespunzătoare stelei, cu planul ecuatorului. Se măsoară de la ecuator spre cei doi poli, de la 0° la 90° , avînd semnul $+$ în emisfera nordică și semnul $-$ în emisfera sudică a sferei cerești.

Steaua, descriind, datorită mișcării diurne, un cerc paralel cu ecuatorul, declinația nu depinde de locul și momentul observației. Unghiul orar, însă, prin meridianul locului, este legat de locul și momentul observației.

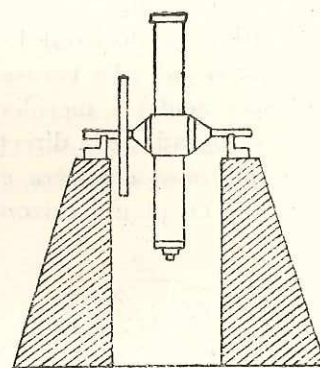


Fig. 6. Luneta meridiană.

Datorită rotației aparente a sferei cerești (mai bine-zis a rotației Pământului), *unghiul orar* al fiecărui astru crește de la 0° la 360° în timpul perioadei de rotație, de aproximativ 24 de ore. Mișcarea fiind presupusă uniformă, unghiul orar este proporțional cu timpul:

la 24^h corespund 360° ; la 1^m corespund $15'$;

la 1^h corespund 15° ; la 1^s corespund $15''$.

De aceea s-a introdus o nouă unitate pentru unghiuri și anume ora, prin relația $1^h = 15^\circ$, de unde rezultă: $1^m = 15'$; $1^s = 15''$.

c. *Coordonatele ecuatoriale* sînt coordonatele caracteristice ale stelei. Se obțin păstrînd din coordonatele orare declinația, iar unghiul orar îl vom înlocui printr-un unghi numit *ascensiunea dreaptă* a stelei. În acest scop vom considera un punct de pe ecuator, punctul γ (*punctul vernal*), care participă la mișcarea diurnă, și pe care îl vom defini în capitolul III.

Vom numi *ascensiune dreaptă* α a stelei unghiul format de planul cercului orar $P_\gamma P'$ al punctului vernal cu planul cercului orar al stelei PSP' . Ascensiunea dreaptă și declinația sînt independente de momentul și locul observației, motiv pentru care sînt trecute în cataloage stelare și anuare astronomice, servind la identificarea stelelor.

Unghiul orar al punctului vernal (unghiul γOE) se numește *timp sideral* și se notează frecvent cu θ .

Determinarea coordonatelor ecuatoriale se face cu ajutorul *lunetei meridiane*. Aceasta se compune dintr-o lunetă care se poate roti numai în planul meridian al locului în jurul unei axe orizontale (fig. 6).

Pentru a urmări o stea timp mai îndelungat sau pentru a fotografia o regiune a cerului, este necesar ca luneta să participe la mișcarea diurnă

a sferei cerești. În acest scop vom utiliza instrumentul numit *ecuatorial* care se aseamănă ca principiu cu un instrument universal, a cărui axă verticală am dus-o paralel cu axa lumii. Luneta, rotindu-se în jurul acestei axe (axa orară) cu viteza unghiulară egală cu a sferei cerești, va descrie un arc de paralel, deci va putea urmări orice stea (fig. 7).

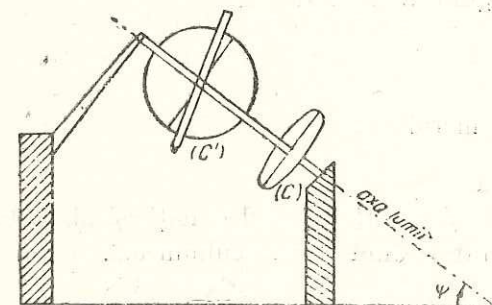


Fig. 7. Schema ecuatorialului.

În acest fel sînt montate cele mai mari lunete (refractoare cu lentile) și telescoape (reflectoare cu oglinzi).

În țara noastră, *Observatorul din București* dispune de cea mai mare lunetă (refractor), luneta ecuatorială dublă (fotografică și vizuală) cu diametrul obiectivului de 38 cm și distanța focală de 6 m, iar observatoarele din Cluj și București de cel mai mare telescop (reflector), cu diametrul de 50 cm și distanța focală de 2,5 m, respectiv 7,5 m.

3. Relații simple între coordonate

Să considerăm sfera cerească pe care am figurat axa lumii PP' , verticala locului ZN , ecuatorul EE' , orizontul HH' și meridianul locului $PZP'N$. Unghiul format de verticala locului cu planul ecuatorului (unghiul EOZ) se numește *latitudinea geografică* a locului de observație și se notează cu φ .

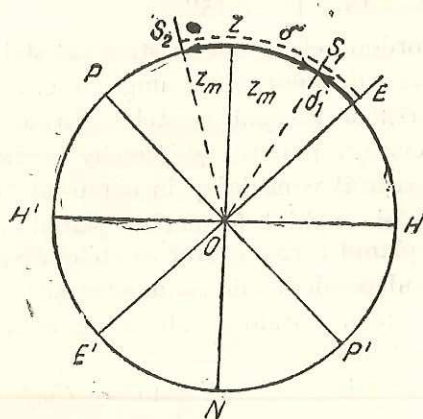


Fig. 8. Relația dintre latitudine, declinație și dist. zenitală.

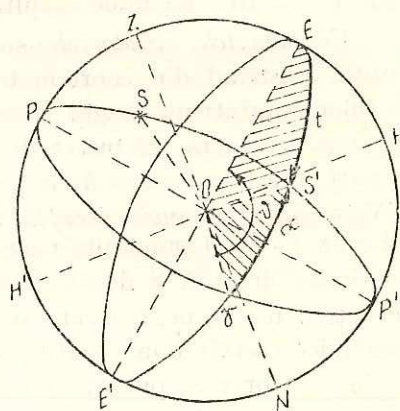


Fig. 9. Relația dintre timpul sideral, unghiul orar și ascensia dreaptă.

Se măsoară de la ecuator spre poli de la 0° la 90° , avînd semnul $+$ în emisfera nordică și semnul $-$ în cea sudică. Fie S_1 , poziția stelei S , în momentul culminației sale superioare. Din figura 8 se vede că

$$\widehat{EOS_1} = \delta_1 \text{ declinația stelei};$$

$$\widehat{S_1OZ} = z_m \text{ distanța zenitală în meridian};$$

$$\widehat{EOZ} = \varphi, \text{ latitudinea geografică.}$$

Rezultă $\varphi = \delta_1 + z_m$ (prin notație δ_1 și z_m înțelegem declinația și distanța zenitală în meridian a stelei considerate). Cînd steaua culminează la nord

de zenit (corespunzător stelei S_2), se vede că $\widehat{EOZ} = \widehat{EOS_2} - \widehat{ZOS_2}$, adică $\varphi = \delta - z_m$, de unde, în general $\varphi = \delta \pm z_m$; semnul $+$ corespunde culminației la sud de zenit și semnul $-$ culminației la nord de zenit. Distanța zenitală în meridian z_m se măsoară dîndu-se declinația stelei (cunoscută din catalog după identificarea stelei), deci se determină latitudinea geografică φ . Odată φ cunoscut, cu ajutorul formulei putem determina declinația stelei, căreia i-am măsurat distanța zenitală în meridian z_m .

Din figura 9 se vede că în planul ecuatorului avem:

$$\widehat{EO\gamma} = \widehat{EOS'} + \widehat{S'O\gamma}.$$

$\widehat{EO\gamma} = \vartheta$ — timpul sideral, $\widehat{EOS'} = t$ — unghiul orar al stelei și $\widehat{S'O\gamma} = \alpha$ — ascensia stelei, deci:

$$\vartheta = \alpha + t.$$

Cunoscînd două dintre mărimi, determinăm pe a treia. În momentul culminației stelei $\widehat{EOS'} = t = 0$, deci $\vartheta = \alpha$. Cu ajutorul unei stele cunoscute (α luat din catalog) determinăm timpul sideral ϑ . Cunoscînd timpul sideral ϑ , putem determina ascensia unei stele oarecare.

4. Orientarea cu ajutorul astrilor

A fi orientat într-un punct de pe Pămînt înseamnă a cunoaște direcția punctelor cardinale, ceea ce revine la cunoașterea direcției meridianei locului.

Determinarea direcției meridianei locului se poate face aproximativ cu ajutorul unui ceas, al Lunii etc.

Cîteva metode mai precise sînt:

a. *Cu ajutorul gnomonului.* Gnomonul este cel mai vechi instrument astronomic și constă dintr-o vergea înfiptă vertical în sol (fig. 10). Soarele în mișcarea sa aparentă diurnă descrie un drum simetric în raport cu planul meridian, deci în poziții simetrice înălțimile deasupra orizontului fiind egale, și umbrele gnomonului vor fi egale: bisectoarea unghiului format de două umbre egale ale gnomonului este chiar pe meridianul locului.

b. *Cu ajutorul instrumentului universal.* Este o metodă mai precisă. Observăm un astru aflat înainte de culminația sa și fixăm luneta în înălțime (fig. 11). Astrul descriind paralelul său diurn, imaginea iese din câmpul lunetei. Mișcînd în azimut luneta după astru, imaginea reîntre în câmpul lunetei.

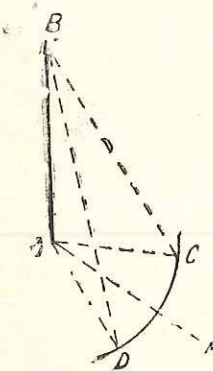


Fig. 10. Orientarea cu gnomonul (metoda umbrelor egale).

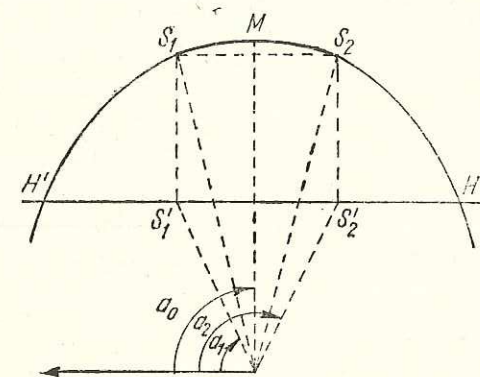


Fig. 11. Determinarea meridianei cu instrumentul universal (metoda înălțimilor egale).

pul lunetei în poziția simetrică cu prima. Media aritmetică a celor două citiri a_1 și a_2 pe cercul orizontal, corespunzătoare celor două poziții simetrice, ne dă citirea a_0 corespunzătoare meridianei:

$$a_0 = \frac{a_1 + a_2}{2}.$$

Exerciții

1. Meridiana unui loc taie orizontul în punctul nord și punctul sud. Care este deosebirea între polul nord și punctul nord?

2. Să se arate că ecuatorul cereesc taie orizontul în două puncte aflate la 90° de punctele sud și nord (numite punct est și punct vest).

3. Știind că numim prim-vertical intersecția cu sfera cerească a planului vertical perpendicular pe planul meridian al unui loc, să se arate că acest cerc, orizontul și ecuatorul cereesc sînt trei cercuri mari care se intersectează în aceleași două puncte.

4. Ce condiție trebuie să îndeplinească stelele pentru a putea fi văzute în primul vertical al unei localități date?

5. Care sînt stelele circumpolare pentru observatorul aflat în București, știind că latitudinea lui este $\varphi = 44^\circ 25'$?

6. Care este punctul de pe Pămînt din care oricum s-ar deplasa observatorul ar merge spre sud?

7. Un observator din Giurgiu măsoară pentru steaua Arcturus distanța zenitală meridiană $zm = 24^\circ 29'$. Din anuarul Observatorului din București se află că declinația acestei stele este de $19^\circ 24'$. Care este latitudinea geografică a locului de observație (se neglijează refracția)?

8. Avînd latitudinea localității Giurgiu din problema precedentă, să se afle declinația stelei pentru care s-a determinat distanța zenitală meridiană ca fiind de $18^\circ 53'$.

9. Un elev din Cîmpina ($\varphi = 45^\circ 18'$) observă într-o zi că umbra meridiană a gnomonului său înalt de 1 m are lungimea de 1,12 m. Să se afle declinația Soarelui în acel moment.

Cu ajutorul Anuarului Observatorului din București să se stabilească aproximativ data la care a fost făcută observația.

CAPITOLUL II

PĂMÎNTUL

1. Forma Pămîntului și dimensiunile lui

Pămîntul este un corp în spațiu, de formă aproape sferică, avînd raza medie de 6 370 km.

Forma rotundă a Pămîntului a fost pusă în evidență în decursul veacurilor prin analogii și observații. Luna și Soarele fiind sferice, la fel trebuie să fie și Pămîntul.

Aristotel (384—322 î.e.n.), observînd umbra circulară a Pămîntului pe Lună în timpul eclipselor de Lună, a dedus că Pămîntul este rotund.

O corabie cu pînze care se îndepărtează de țărm pare că se scufundă treptat sub orizont. Întîi dispăre corpul corabiei și pe urmă catargul. Aceasta din cauza rotunjimii Pămîntului.

— La începutul secolului al XVI-lea, Magellan și del Cano, navigînd mereu spre apus, au înconjurat Pămîntul, ajungînd din nou la locul de plecare.

Fotografiile Pămîntului luate de la mari înălțimi cu ajutorul rachetelor, ca și zborul sateliților artificiali, aduc dovezi concludente ale formei sferice a Pămîntului (fig. 12 și 13).

Învățăutul grec Eratostene (276—194 î.e.n.) a determinat primul circumferința Pămîntului (adică lungimea unui meridian terestru). El a observat că în momentul solstițiului de vară în localitatea Syena (azi Assuan) fundul puțurilor este luminat de Soare, adică Soarele se află la zenitul localității. În același moment, cu ajutorul unui gnomon așezat la Alexandria, a determinat distanța zenitală a Soarelui, găsind-o de $n^\circ = 7^\circ,2$ (fig. 14) care este chiar diferența de latitudine dintre cele două localități. A măsurat pe sol neted distanța l de la Syena la Alexandria, ca fiind de 5 000 de stadii. Scriind proporționalitatea arcelor cu unghiurile la centru corespunzătoare, avem

$$\frac{2\pi R}{360^\circ} = \frac{l}{n^\circ}, \text{ de unde } 2\pi R = \frac{360^\circ}{n^\circ} l. \text{ Eratostene găsește } 2\pi R = 252\,000 \text{ stadii} \approx 39\,690 \text{ km.}$$

Azi, măsurările se bazează pe același principiu, dar dificultatea constă în măsurarea arcului terestru l din cauza obstacolelor. Se utilizează *metoda triangulației*, în care se acoperă cu triunghiuri o fișie de teren care conține

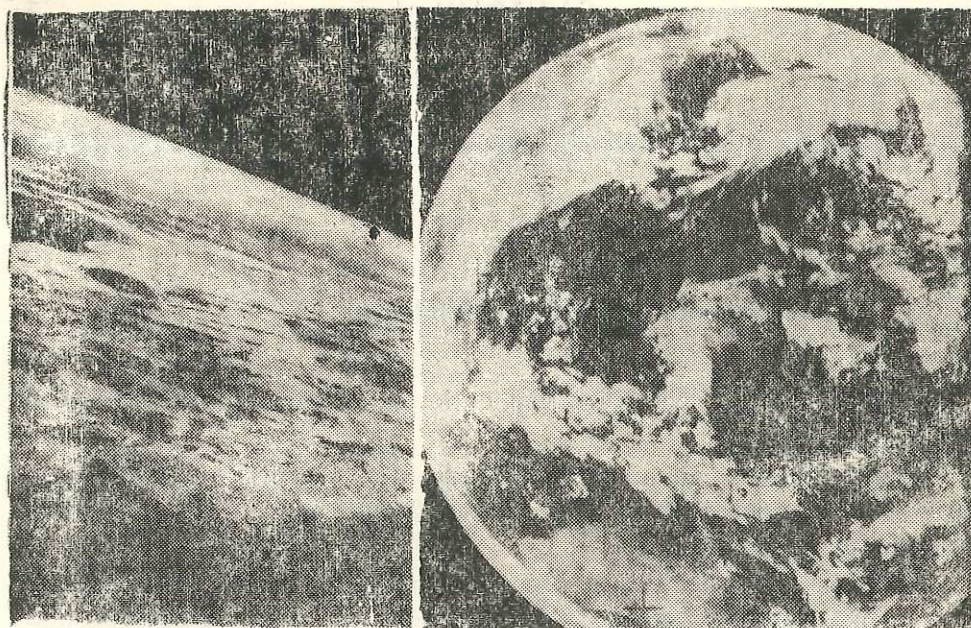


Fig. 12. Pământul fotografiat dintr-o rachetă Viking de la înălțimea de 230 km. Sus se vede Golful Californiei, Oceanul Pacific. Fotografia cuprinde o suprafață de circa 1 500 000 km². Orizontul aflat sus la distanța de 1 600 km indică foarte bine curbura Pământului.

Fig. 13. Imagine a Pământului luată și transmisă de satelit.

arcul de măsurat și, măsurând o singură distanță numită *bază* și unghiurile triunghiurilor, prin calcul se determină lungimea arcului de măsurat (fig. 15 a).

Măsurările au dovedit că forma Pământului este diferită de sferă.

Newton (1643–1727) a observat că planeta Jupiter, având o rotație în jurul axei sale, este turtită, de unde deduce că și Pământul este turtit la poli, ca o consecință a mișcării sale de rotație. Măsurările ulterioare au confirmat acest fapt: lungimea arcului de un grad pe meridian este mai mare la poli decât la ecuator. Ar rezulta de aici că Pământul are forma unui *elipsoid de revoluție*. Numeroasele măsurări moderne au arătat că meridianele terestre au lungimi puțin diferite. Deci Pământul are o formă apropiată de elipsoidul de revoluție, numită *geoid*.

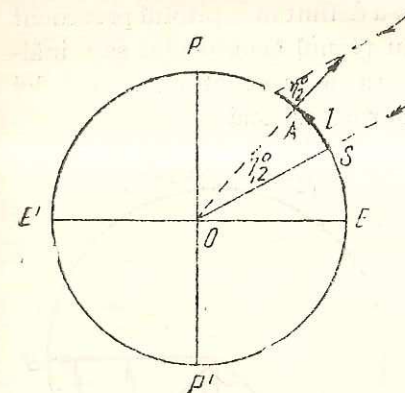


Fig. 14. Determinarea razei Pământului (Eratostene)

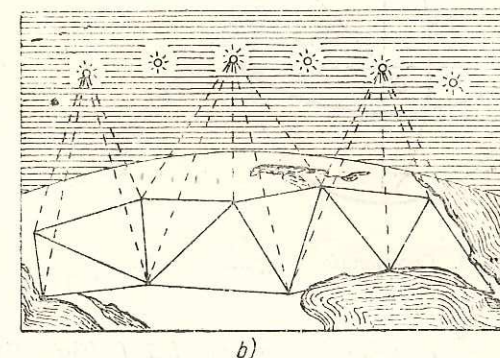
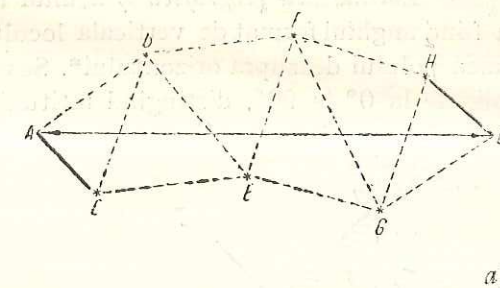


Fig. 15. Metoda triangulației.

Notînd cu a semiaxa ecuatorială, cu b semiaxa polară, turtirea elipsoidului terestru (de referință) este:

$$t = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298,257},$$

ar semiaxa ecuatorială:

$$a = 6\,378\,140 \text{ m} \pm 10 \text{ m},$$

determinate cu ajutorul sateliților artificiali ai Pământului.

Măsurările terestre se fac pe uscat, neputînd depăși marile întinderi ale oceanelor. De aici rezultă că rețelele de coordonate sînt diferite pe grupe de continente. Unificarea lor este posibilă cu ajutorul sateliților artificiali. Observîndu-se simultan din cîteva puncte date, marile întinderi sînt acoperite cu piramide uriașe (fig. 15, b), la care măsurăm unghiurile (*triangulație cosmică*) sau distanțele la satelit cu ajutorul laserilor (*trilaterație cosmică*). Acestea constituie o problemă a folosirii sateliților artificiali.

2. Coordonatele geografice și determinarea lor

Poziția unui punct de pe suprafața terestră se poate determina în mod analog cu poziția punctelor pe sfera cerească, cu ajutorul coordonatelor geografice:

— *Latitudinea geografică* φ a unui loc s-a definit în capitolul precedent ca fiind unghiul format de verticala locului cu planul ecuatorului sau înălțimea polului deasupra orizontului*. Se măsoară de la ecuator spre cei doi poli, de la 0° la 90° , distingând latitudini nordice și sudice.

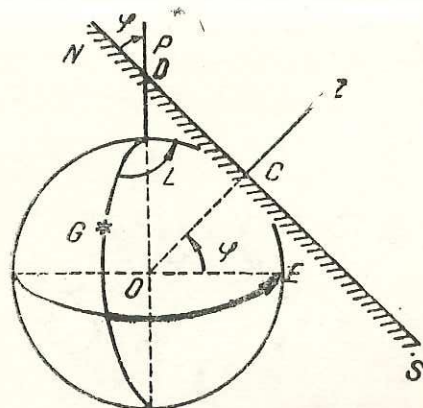


Fig. 16. Coordonate geografice

— *Longitudinea geografică* L (fig. 16) a unui loc este unghiul diedru format de planul primului meridian, meridianul de la Greenwich, cu planul meridian al locului. Se măsoară de la 0° la 180° în ambele sensuri, distingând longitudini estice și vestice. De asemenea, se măsoară spre est, de la 0° la 360° .

Coordonatele geografice constituie elementul esențial pentru construcția hărților geografice și sînt de primă importanță în călătorii, navigație, probleme de explorare, precum și în topografie.

Determinarea longitudinii. Să considerăm longitudinile ca fiind măsurate în sens direct (spre est) de la 0° la 360° sau de la 0^h la 24^h . Considerînd o secțiune ecuatorială a sferei cerești, reprezentăm planele orare $O\gamma$, OG , OA și OB ale punctului vernal γ , al localității Greenwich (primul meridian) și ale localităților A și B (fig. 17). Am notat timpurile siderale ale acestor trei localități cu ϑ_0 , ϑ_A , ϑ_B și cu L_A și L_B longitudinile ultimelor două.

Se vede din figură că $\vartheta_0 = \vartheta_A - L_A = \vartheta_B - L_B$, de unde:

$$L_B - L_A = \vartheta_B - \vartheta_A;$$

rezultă că diferența longitudinilor a două localități este egală cu diferența timpurilor siderale corespunzătoare aceluiași moment. Așa cum vom vedea mai târziu, putem înlocui timpul sideral cu oricare din timpurile locale. Considerînd una din localități chiar Greenwich, $L_A = 0$, deci:

$$L_B = \vartheta_A - \vartheta_0.$$

* Deoarece, cum se vede din figura 16, $\widehat{EOC} = \widehat{NDP}$, avînd laturile respectiv perpendiculare.

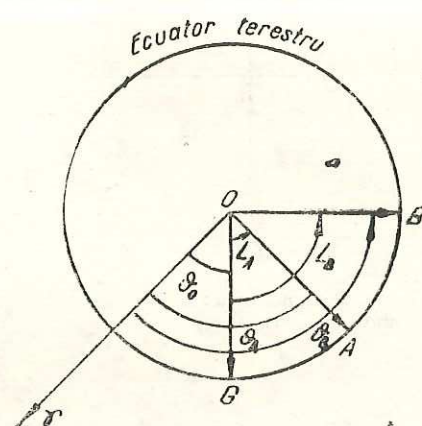


Fig. 17. Relația dintre timp sideral și longitudine.

adică longitudinea unui loc este diferența dintre ora siderală a locului și ora siderală la Greenwich în același moment.

În trecut, determinarea de longitudine se făcea în modul următor:

— în explorări se pornea de la o localitate cunoscută și se transporta ora siderală cu ajutorul unui cronometru. În localitatea necunoscută se determina timpul sideral (după metoda pe care o vom expune în cap. IV);

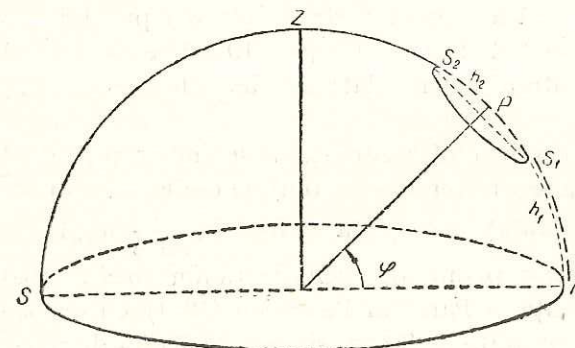


Fig. 18. Determinarea latitudinii geografice cu ajutorul unei stele circumpolare.

— prin observarea simultană din două localități a momentului începerii aceluiași fenomen, de exemplu eclipse de Lună, eclipsele sateliților lui Jupiter etc.;

— prin semnale radio se dispune de timpul de la Greenwich, iar cel local se determină.

Determinarea latitudinii. Se determină prin relația:

$$\varphi = \delta \pm z_m.$$

În momentul trecerii la meridian a unei stele cunoscute (δ dat), se măsoară cu ajutorul instrumentului meridian distanța zenitală z_m . Se mai poate determina, știind că este egală cu înălțimea polului deasupra orizontului, măsurînd înălțimile celor două culminații, superioară și inferioară (fig. 18), ale unei stele circumpolare și luînd media lor aritmetică:

$$\varphi = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

Deplasarea polilor tereștri pe suprafața Pămîntului. Din determinările de latitudini de mare precizie se poate pune în evidență deplasarea polilor tereștri în jurul pozițiilor lor medii: fiecare pol descrie, cu o perioadă de 430 de zile, o curbă complicată, care poate fi închisă într-un cerc cu raza de 15 m.

3. Mișcarea de rotație a Pămîntului

Mișcarea diurnă a sferei cerești o putem explica în două feluri:

a) Universul întreg se rotește în jurul Pămîntului fix. Această explicație este inexactă, deoarece stelele, aflîndu-se la distanțe foarte mari, ar

trebui să aibă viteze fantastice, de miliarde de kilometri pe secundă, pentru a putea face ocolul Pământului în circa 24 de ore.

b) Pământul se rotește în jurul axei sale în raport cu Universul. Pentru această explicație avem o serie de dovezi:

Devierea corpurilor în mișcare. Piatra lăsată să cadă liber într-un puț adânc al unei mine nu va cădea vertical (la baza puțului), ci spre răsărit, deoarece piatra are viteza liniară a punctului de la intrarea puțului, care este mai mare decât a unui punct de la baza lui (fig. 19). Alte exemple de deviere datorite rotației Pământului ne sînt date de vînturile alizee, curenții maritimi etc.

Experiența cu pendulul. Un pendul păstrează neschimbat planul de oscilație față de stele. Față de repere terestre, planul de oscilație se rotește; într-un loc de latitudine φ , o rotație completă se face în $\frac{24}{\sin \varphi}$ ore, la pol în circa 24 de ore, iar la ecuator planul de oscilație rămîne neschimbat.

Foucault* a făcut experiența la Paris, în Panthéon (1851), cu un pendul de 67 m lungime, avînd o greutate de 30 kg, și a găsit că față de repere terestre, planul pendulului a deviat cu 360° în 32 de ore.

Din rotația Pământului rezultă cîteva consecințe:

- Pământul este turtit la poli;
- accelerația gravitației (numită de obicei a gravitației) g variază atît datorită acestei turtiri, cît și datorită accelerației centrifuge, avînd la ecuator valoarea $g = 978 \text{ cm/s}^2$, iar la poli $g = 983 \text{ cm/s}^2$.**

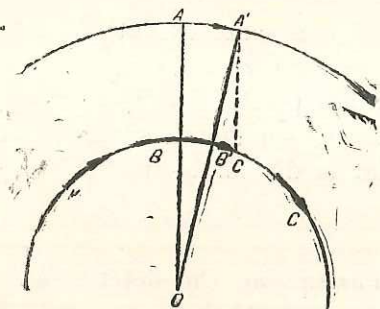


Fig. 19. Devierea corpurilor în cădere liberă. $AA' = BC > BB'$.

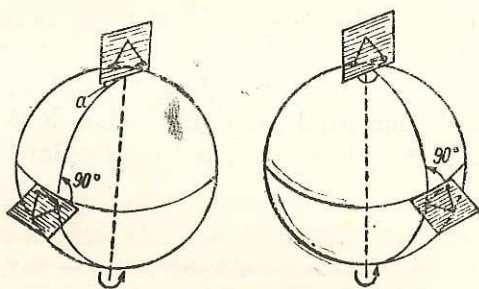


Fig. 20. Experiența lui Foucault.

Problemele în legătură cu studiul Pământului, al fenomenelor legate de el, al relațiilor Soare-Pământ fiind vaste și numeroase, este necesară o colaborare internațională pentru rezolvarea lor. Din acest motiv s-a instituit Anul Geofizic Internațional, cu o durată de 18 luni (1 iulie 1957—31 decembrie 1953), prelungit cu un an (anul 1959), în care mii de

* Jean Bernard Leon Foucault (1819—1838), fizician francez.

** În ediția revizuită s-au păstrat unitățile de măsură tolerate, trecerea la S.T. putîndu-se efectua ușor.

cercetători răspîndiți pe tot globul, după un plan comun, cu metode și mijloace uniforme, au studiat toate problemele legate de planeta noastră.

La noi în țară, Observatorul din București a participat la lucrările Anului Geofizic Internațional prin studiile de seismologie, determinarea latitudinii și longitudinii, studiul Soarelui și urmărirea sateliților artificiali ai Pământului (la acestea din urmă în colaborare cu Observatorul din Cluj).

Refracția astronomică. Pînă aici am considerat că observațiile se fac în lipsa atmosferei, cum ar fi cele efectuate pe Lună, pe planeta Mercur sau pe alt corp ceresc lipsit de atmosferă.

Dar observațiile terestre se fac în prezența atmosferei, la care se aplică legile fizice ale refracției. Considerînd pentru simplitate atmosfera formată din straturi paralele, în fiecare din ele densitatea fiind constantă, raza de lumină este deviată la limita de separație a straturilor, încît drumul rectiliniu al razei se înlocuiește printr-o linie frîntă. Dacă se consideră un număr foarte mare de straturi de grosimi tinzînd la zero, această

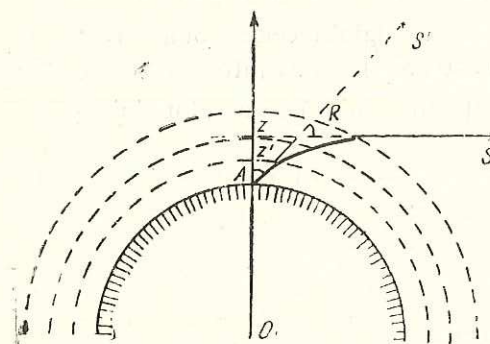


Fig. 21. Refracția astronomică.

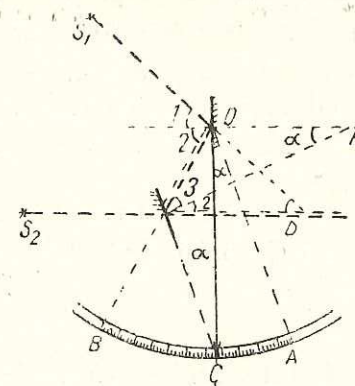


Fig. 22. Sextantul

linie frîntă tinde spre o linie curbă. Observatorul din A (fig. 21) vede steaua nu în S, unde se află în mod real, ci în direcția tangentei AS' la curbă. Devierea R a razei de lumină de la direcția rectilinie (unghiul tangentelor duse la extremitățile curbei) se numește *refracție astronomică*.

Refracția astronomică afectează toate observațiile terestre. Se vede că distanța zenitală z a astrului va fi egală cu distanța zenitală măsurată z' (aparentă) corectată cu mărimea R a refracției $z = z' + R$.

Azimutul astrului rămîne neschimbat, întrucît refracția se produce într-un plan vertical.

Dar valoarea lui R este mică, la orizont abia atinge $36'$ și scade odată cu înălțimea, devenind nulă la zenit.

Deci toate observațiile terestre trebuie corectate ținînd seama de efectul refracției astronomice. Corecțiile sînt calculate și date în tabele. După cum se vede în figura 21, refracția mărește înălțimea astrului deasupra orizontului. Această constatare se aplică și la Soare, de unde rezultă o prelun-

gire a zilei, Soarele răsărind aparent mai repede și apunînd mai tîrziu datorită refracției. Particulele atmosferice difuzează lumina, de unde mai rezultă o prelungire a zilei prin lumina difuză a Soarelui, după ce acesta se află sub orizont. Acest fenomen se numește *crepuscul*.

Sextantul. Observațiile amintite înainte erau efectuate cu aparate care presupuneau existența unui plan orizontal fix pe care erau instalate. Pe mare și în văzduh, această condiție este irealizabilă. De aceea s-a construit un aparat numit *sextant*, cu care se poate măsura unghiul a două direcții (unghiul format de direcțiile spre doi astri).

Menționăm că pe sfera cerească se fac numai măsurări unghiulare, întrucît raza ei este arbitrară, toate astrele indiferent de distanța la care se află fiind văzute ca proiectate pe sfera cerească.

Sextantul se compune dintr-un sector circular metalic de 60° (de unde vine și numele de sextant), avînd o rază OC mobilă pe care se află o oglindă al cărei plan este perpendicular pe planul sextantului. A doua oglindă prelungită printr-o ferestruică, se află pe raza OB (fig. 22). În baza legilor reflexiei, $\hat{1} = \hat{2}$ și $\hat{3} = \hat{4}$. Se măsoară unghiul celor două direcții, suprapunînd razele care vin de la cei doi astri S_1 și S_2 cu ajutorul celor două oglinzi. Dublul unghiului AOC este distanța unghiulară D a celor doi astri. $\hat{D} = \hat{AOC} = 2\alpha$, cum rezultă din figura 22. Menționăm că în cazul general punctul C (vîrfurile unghiului) nu este situat pe arcul gradat (limbul) AB .

4. Interiorul și vîrsta Pămîntului

Interiorul Pămîntului se cercetează greu direct: în depresiunile naturale se poate coborî pînă la adîncimea de 10 km (lîngă Insulele Mariene din Pacific), iar prin foraje pînă la 6,7 km. Dar toate acestea reprezintă atît de puțin față de raza de 6 370 km a Pămîntului.

Masa Pămîntului se poate determina experimental. S-a găsit că fiind de $5,98 \times 10^{27}$ g. Cunoșcînd volumul său, putem calcula densitatea medie a Pămîntului, care este 5,52 în raport cu apa. Straturile superficiale ale scoarței avînd densitatea numai de 2,5 se admite o creștere a densității spre interior, ajungînd pînă la 10,5 (densitate mai mare decît a oțelului).

Din foraje s-a constatat că temperatura crește spre interior: după 30—40 m adîncime, temperatura crește cu 3°C la fiecare 100 m adîncime. Această creștere datorită și substanțelor radioactive aflate la adîncimi de numai cîteva sute de kilometri devine mai lentă spre interior, încît în centrul Pămîntului este o temperatură de mai multe mii de grade. Se poate admite că, din cauza marilor presiuni, după un strat fluid aflat sub scoarță să existe un nucleu solid din fier și nichel.

Perioada de deplasare a polilor terestri, de 430 de zile, este în concordanță cu această concluzie, iar undele seismice care traversează masa terestră indică o discontinuitate la 2 900 km adîncime și a doua la 5 100 km, corespunzînd trecerii de la proprietatea de solid la proprietatea de fluid și invers.

De aici o concluzie asupra structurii interne a Pămîntului: sub scoarța terestră se află materie pînă la 2 900 km, formată din silicați, avînd densitatea între 3 și 6 g/cm³. Se continuă cu nucleul lichid pînă la 5 100 km, în care domină fierul, iar peste 5 100 km adîncime se află nucleul interior, probabil solid.

Este posibil să fie justă ipoteza nucleului terestru format din elementul cel mai abundent aflat în Soare, hidrogenul, care la presiuni foarte mari poate obține proprietăți metalice.

Vîrsta Pămîntului se poate deduce din fenomenele de dezintegrare radioactivă din scoarța și carbonul viteza de dezintegrare a izotopilor uraniului, se poate determina timpul necesar obținerii izotopilor de plumb din scoarță care au provenit din dezintegrarea primului. Se află astfel o vîrstă de 4,5 miliarde de ani. Acest rezultat este important pentru vîrsta sistemului nostru solar. El este în concordanță cu vîrsta de 5,2 miliarde de ani dedusă pentru Soare pe alte căi.

Exerciții

1. Longitudinea Observatorului din București este $L = 1^h 44^m 23s$, 1 (longitudine estică). Să se afle longitudinea observatorului care înregistrează începutul unei eclipse de Lună la ora siderală $\theta_2 = 19^h 15^m 23s$, 4 în timp ce același fenomen e înregistrat la București la ora siderală $\theta = 19^h 25^m 28s$, 0.

2. Cu ajutorul sextantului s-a măsurat pe Marea Neagră în ziua de 15 mai înălțimea maximă a Soarelui dea-

supra orizontului, găsindu-se $64^\circ 45'$. Să se afle latitudinea geografică a locului de observație, știind că în acea zi Soarele avea declinația $+18^\circ 56'$.

3. La un moment dat, distanța zenitală aparentă a stelei Spica (α Virginis) este de $z' = 69^\circ 45'$. Știind că refracția R este dată de formula:

$$R = 58'', 2 \operatorname{tg} z',$$

să se afle distanța zenitală adevărată corespunzătoare momentului dat.

MIȘCAREA ANUALĂ APARENTĂ A SOARELUI ȘI MIȘCAREA REALĂ A PĂMÎNTULUI ÎN JURUL SOARELUI

1. Mișcarea aparentă a Soarelui pe sfera cerească

Dacă notăm pe orizont punctele unde răsare și unde apune Soarele, vom constata că, spre deosebire de stele, aceste puncte nu sînt fixe. Deci Soarele se mișcă față de stele.

Să determinăm în fiecare zi, timp de un an, la miezul zilei, coordonatele ecuatoriale ale centrului Soarelui. Soarele fiind văzut ca un disc circular cu diametrul aproximativ de $1/2$ grad, măsurăm pozițiile marginilor lui opuse și facem media lor, după ce în prealabil am acoperit ocularul cu un filtru din sticlă neagră pentru a ne apăra de lumina prea puternică a Soarelui.

Așezînd aceste poziții pe o sferă pe care am reprezentat constelațiile, constatăm următoarele:

— Soarele descrie pe sfera cerească un cerc mare numit *ecliptică*, înclinată pe ecuator cu $23^{\circ}27'$.

— Această mișcare anuală aparentă a Soarelui este aproape uniformă și are loc în sens direct.

Perioada acestei mișcări se numește *an sideral*: este intervalul de timp care separă cele două întîlniri consecutive ale Soarelui cu o aceeași stea de pe ecliptică.

Observăm că ecliptica trece prin 12 constelații, care ocupă în jurul acesteia o fișie largă de 9° de o parte și alta a ei, numită *zodiac* (majoritatea acestor constelații au nume de animale). Aceste *constelații*, numite *zodiacale*, sînt:

Berbecul, Taurul, Gemenii, Cancerul, Leul, Fecioara, Balanța, Scorpionul, Săgetătorul, Capricornul, Vărsătorul, Peștii.

Deci, aparent, Soarele descrie în fiecare zi cîte un arc de aproximativ 1° (dublul diametrului său) sau de 4 minute. Această mișcare se numește *mișcarea anuală aparentă a Soarelui*.

Ecliptica taie ecuatorul în două puncte, numite *puncte echinociale*, și anume:

— *punctul vernal* (γ) (fig. 23), prin care Soarele trece din emisfera australă în cea boreală și de la declinații negative la pozitive. El este originea ascensiilor drepte și a timpului sideral. Fiind un punct fictiv, deci inobservabil, determinarea lui, prin calcul, se face cu ajutorul Soarelui;

— *punctul autumnal* (ω), prin care Soarele trece din emisfera boreală în cea australă și de la declinații pozitive la negative.

Ele sînt unite prin *linia echinocțiilor*.

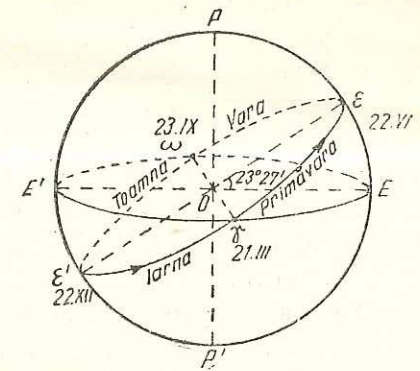


Fig. 23. Ecliptica și anotimpurile.

Punctele solstițiilor sînt extremitățile diametrului eclipticii, perpendicular pe linia echinocțiilor:

— *punctul solstițiului de vară* (ϵ) este punctul eclipticii unde declinația Soarelui ia cea mai mare valoare pozitivă: $23^{\circ}27'$. Ecliptica participînd la mișcarea diurnă a sferei cerești, fiecare punct al ei descrie cîte un paralel diurn. Planul acestui paralel intersectează Pămîntul după un cerc, și anume un paralel terestru. Paralelul terestru corespunzător punctului solstițiului de vară se numește *tropicul Cancerului* sau *Racului*;

— *punctul solstițiului de iarnă* (ϵ') este punctul eclipticii unde declinația Soarelui este cea mai mică: $-23^{\circ}27'$. Paralelul său terestru se numește *tropicul Capricornului*.

2. Consecințele mișcării anuale aparente a Soarelui

a. *Anotimpurile*. Punctele solstițiilor și ale echinocțiilor împart ecliptica în patru arce. Ele sînt punctele fundamentale ale eclipticii. Numim anotimp intervalul de timp necesar Soarelui să descrie arcul dintre două puncte fundamentale consecutive ale eclipticii. Ele sînt:

— *primăvara*, corespunzînd arcului $\gamma \epsilon$ (fig. 23), de la punctul vernal la punctul solstițiului de vară (de la 21 martie la 22 iunie);

— *vara*, corespunzînd arcului $\epsilon \omega$, de la punctul solstițiului de vară la punctul echinocțiului de toamnă (de la 22 iunie la 23 septembrie);

— *toamna*, corespunzînd arcului $\omega \epsilon'$, de la punctul autumnal (al echinocțiului de toamnă) la punctul solstițiului de iarnă (de la 23 septembrie la 22 decembrie);

— *iarna*, corespunzînd arcului $\epsilon' \gamma$, de la punctul solstițiului de iarnă la punctul vernal (de la 22 decembrie la 21 martie).

După cum vom vedea mai departe, drumul aparent al Soarelui, ecliptica, nu e descrisă în mod uniform, de unde rezultă că cele patru arce egale sînt parcurse în timpuri neegale. Durata acestora sînt:

- primăvara 92 de zile și 20 de ore;
- vara 93 de zile și 15 ore;
- toamna 89 de zile și 19 ore;
- iarna 89 de zile.

Pentru emisfera australă, duratele intervalelor rămân aceleași, doar denumirea lor se inversează.

b. *Inegalitatea zilelor și a nopților.* Prin zi înțelegem, în opoziție cu noaptea, durata vizibilității Soarelui, adică timpul în care Soarele se află deasupra orizontului locului.

Deplasarea aparentă a Soarelui pe sfera cerească este rezultatul celor două mișcări aparente descrise mai sus:

- în baza mișcării diurne, la care participă ecliptica, Soarele, ca orice punct al ei, descrie un cerc paralel;

- în baza mișcării sale pe ecliptică, cu 1° aproximativ în timpul unei rotații, Soarele nu revine în același punct al sferei cerești, deci paralelul nu se închide. Traectoria aparentă a Soarelui va fi o spirală cu un număr de spire egal cu numărul de rotații diurne efectuate.

Pentru simplificare, dată fiind mica mișcare a Soarelui pe ecliptică timp de o zi, putem presupune că, în fiecare zi, Soarele, descrie câte un paralel, care se deplasează de la o zi la alta cu câte un grad. Deci atâtea paralele diurne câte zile are anul. Paralelii tereștri ai echinocțiilor coincid cu ecuatorul, iar paralelii solstițiilor coincid cu tropicele: la solstițiul de vară cu tropicul Racului și la cel de iarnă cu tropicul Capricornului.

Într-un loc dat, planul orizontului poate să taie sau nu paralelii diurni. Dacă îi taie, determină arcu diurn deasupra orizontului corespunzător zilei definite mai sus și arcu nocturn sub orizont, corespunzând nopții. În acest caz avem *zile și nopți normale*.

Dacă paralelii diurni nu sînt tăiați de planul orizontului, Soarele rămîne deasupra orizontului sau sub orizont timp de mai multe rotații. Avem *zile și nopți polare*.

În secțiunea meridiană alăturată (fig. 24) am notat cu S_1S_2 paralelul Soarelui (S), S_2 și S_1 fiind cele două culminații.

Notînd cu $h_1 = HS_1$ și $h_2 = HS_2$ înălțimile față de orizont în momentele celor două culminații, din figură se vede că: $h_1 = 90^\circ - \varphi + \delta$; $h_2 = -(90^\circ - \varphi - \delta)$ (considerat cu semnul — fiind sub orizont).

Dacă:

- $h_1 > 0$, $h_2 > 0$, paralelul S se află în întregime deasupra orizontului: zi polară;
- $h_1 > 0$, $h_2 < 0$, paralelul S taie orizontul: avem zile și nopți normale;
- $h_1 < 0$, $h_2 < 0$, paralelul S este în întregime sub orizont: noapte polară.

Se vede că durata și variația zilei depind de latitudinea geografică a locului considerat și de declinația δ a Soarelui.

Putem face grafic o discuție (fig. 25) punînd data anului în abscisă și durata zilei (în ore) în ordonată (ziua corespunde părții hașurate, iar noaptea părții nehașurate).

Dacă $\varphi = 90^\circ$, o zi polară și o noapte polară de șase luni;
 $90^\circ > \varphi > 66^\circ 33'$, o zi și o noapte polară, a căror durată scade de la pol spre cercul polar, separate de zile normale. $\varphi = 66^\circ 33'$, o zi și o noapte polară de câte 48 de ore, restul zile normale de durată variabilă.

$66^\circ 33' > \varphi > 0$, zile normale de durată variabilă.
 $\varphi = 0$, zile și nopți egale cu 12 ore.

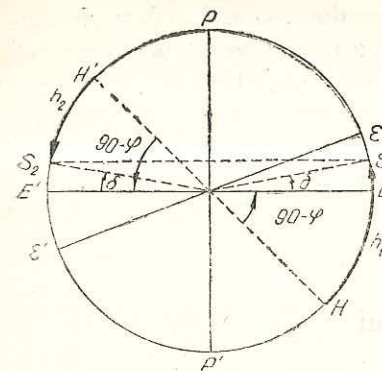


Fig. 24. Înălțimea Soarelui la cele două culminații (determinarea arcelor h_1 și h_2).

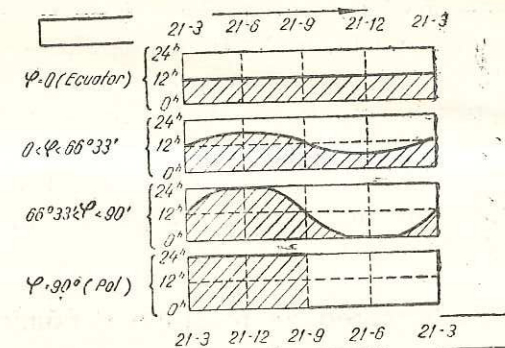


Fig. 25. Variația duratei zilei.

Pe abscisă s-a pus data anului (ziua, luna); pentru emisfera nordică, în partea superioară a figurii, pentru emisfera sudică în partea inferioară. Pe ordonată s-a trecut durata, în ore a zilei (partea hașurată).

În țara noastră avem numai zile și nopți normale între 15 ore 32 de minute și 8 ore 50 de minute. Datorită refracției astronomice, crepusculul se adaugă la rezultatele de mai sus, prelungind durata zilei. Din acest motiv, în apropierea paralelei de $66^\circ 33'$ în jurul solstițiului de vară, deși Soarele apune, crepusculul cuprinde scurta noapte, dînd loc celebrelor *nopți albe*.

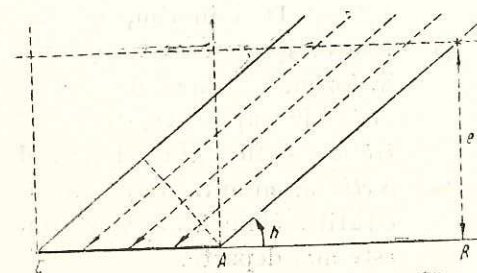
c. *Zonele climatice ale Pămîntului.* Soarele fiind sursa de energie (căldură) pentru sistemul solar, putem calcula căldura pe care o primește unitatea din suprafața terestră în timpul unei zile.

a) În cazul incidenței normale (Soarele la zenit), fie c numărul calorilor care cad pe unitatea de arie timp de o secundă. Dacă Soarele se găsește la înălțimea unghiulară h , pe aceeași arie vor cădea numai $c \cdot \sin h$ calorii pe secundă.

b) Atmosfera terestră absoarbe din această energie o cantitate proporțională cu lungimea drumului razei lumină din interiorul ei (fig. 26). În timp ce în incidența normală atmosfera are grosimea e , în incidența oblică se comportă ca un strat de grosime mai mare:

$$AD = \frac{e}{\sin h}$$

Rezultă că energia primită de o porțiune din suprafața terestră depinde de înălțimea Soarelui, ca și de durata zilei.



De aici împărțirea suprafeței terestre în mai multe zone climatice:

— zona caldă, cuprinsă între cele două tropice, este totalitatea punctelor care de două ori pe an au Soarele la zenitul lor;

Fig. 26. Căldura primită pe unitate de arie terestră.

— două zone reci (polare), formate de cele două calote polare delimitate de paraleli, de latitudine $\pm (90 - \epsilon)$, numite *cercuri polare*, sînt totalitatea punctelor terestre care au nopți polare. (Am notat cu ϵ înclinarea eclipticii pe ecuator, egală cu $23^\circ 27'$);

— două zone temperate, cuprinse între tropice și cercurile polare.

Țara noastră, mărginită de paraleli $43^\circ 37'$ și $48^\circ 15'$, este cuprinsă în întregime în zona temperată de nord.

3. Mișcarea de revoluție a Pămîntului

Am studiat pînă aici mișcarea proiecției Soarelui pe sfera cerească și consecințele ei, considerînd ca reper Pămîntul imobil. Am putea considera Soarele fix și să studiem mișcarea Pămîntului în jurul Soarelui, fără ca să se modifice consecințele arătate mai sus. Într-adevăr, putem considera traiectoria Soarelui în jurul Pămîntului construită cu ajutorul vectorilor $PS_1, PS_2, PS_3, \dots$ (fig. 27), cărora le cunoaștem direcția și lungimea. Dacă am considera acum Soarele imobil și am duce vectorii $SP_1, SP_2, SP_3, \dots$, opuși celor dinainte, am obține o traiectorie similară celei obținute pentru

Soare, care este parcursă de Pămînt în același sens și după aceeași lege.

Pentru a explica mișcarea aparentă a planetelor, Copernic a admis ca reală mișcarea Pămîntului în jurul Soarelui imobil. Dar dacă mișcarea Pămîntului este reală, trebuie să fie oglindită în pozițiile stelelor. Considerînd patru poziții oarecare ale Pămîntului, steaua S' (fig. 28) va fi văzută în direcțiile $P_1S', P_2S', P_3S', P_4S'$, care, prelungite, intersectează sfera cerească în punctele S_1', S_2', S_3', S_4' . Deci în timp ce Pămîntul își descrie traiectoria în formă de elipsă (cum vom vedea în cap. VI), steaua S' trebuie să fie văzută descriind o *elipsă*, numită de *paralaxă*, cu atît mai mică cu cît steaua este mai departe.

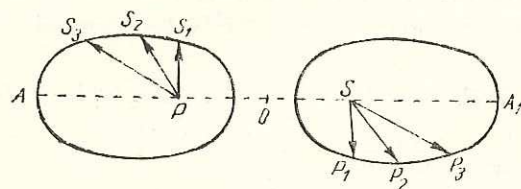


Fig. 27. Mișcarea Pămîntului în jurul Soarelui.

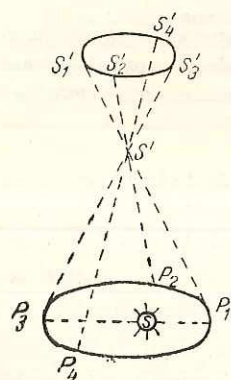


Fig. 28. Mișcarea Pămîntului oglindită în pozițiile stelelor (elipse de paralaxă).

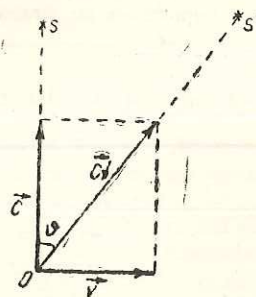


Fig. 29. Aberația luminii.

În 1728, Bradley a observat că, într-adevăr, stelele descriu elipse anuale, dar, oricare ar fi steaua, axa mare a traiectoriei este aceeași: $41'', 2$.

Deci elipsele găsite de el nu sînt elipsele de paralaxă căutate; Bradley numește acest fenomen *aberația luminii*. Compunînd viteza luminii $c = 300\,000$ km/s cu viteza $v = 30$ km/s a Pămîntului în mișcarea lui de revoluție, cazul $\vec{v} \perp \vec{c}$ (fig. 29), steaua văzută în direcția rezultantei acestora apare deviată în sensul mișcării Pămîntului cu unghiul ϑ :

$$\operatorname{tg} \vartheta = \vartheta = \frac{v}{c} = \frac{30}{300\,000} \text{ radiani} = \frac{30}{300\,000} \cdot 206\,265'' = 20'',6,$$

de unde aceeași axă (axa elipselor de aberație) pentru toate stelele de $41'',2$. Viteza v fiind tangentă mereu la traiectoria terestră, care cu o bună aproximație poate fi considerată circulară, variază în direcție, din care cauză S' descrie (în cazul cînd $\vec{v}$ nu este perpendicular pe $\vec{c}$) o elipsă în jurul lui S , aceeași oricare ar fi steaua S considerată. Elipsa reprezintă intersecția conului generat de $\vec{c}'$ cu sfera cerească. Acest fapt dovedește existența vitezei v a Pămîntului, deci mișcarea anuală a Pămîntului.

Fenomenul aberației este analog cu al refracției, deoarece face ca steaua aflată real în S să fie văzută în S' . Corectînd de efectul aberației luminii pozițiile observate ale stelelor, avem pozițiile reale ale acestora.

Reprezentînd pe sfera cerească pozițiile reale ale unei stele observate timp de un an, rezultă elipsa de paralaxă cu atît mai mică cu cît steaua este mai departe. Cele mai mari elipse au axa abia de $1\frac{1}{2}''$, deci sînt foarte dificile de observat. Existența lor constituie o altă dovadă că mișcarea de revoluție a Pămîntului este reală.

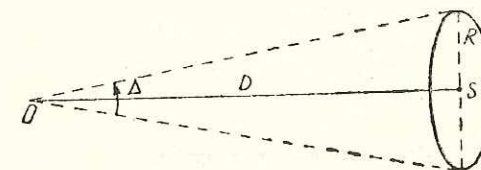
Orbita Pămîntului este drumul Pămîntului în jurul Soarelui. Se află în planul eclipticii, deci axa de rotație a Pămîntului este înclinată pe planul eclipticii cu aproape $66^\circ 33'$. În timpul mișcării Pămîntului, acest unghi rămîne neschimbat, axa polilor rămînînd paralelă cu ea însăși. De aici rezultă anotimpurile și zonele climatice terestre.

Mișcarea anuală a Soarelui este aparentă și este o consecință a mișcării reale a Pămîntului.

Orbita Pămîntului o putem construi dacă cunoaștem în fiecare moment direcția și lungimea vectorului SP . Direcția rezultă din observarea zilnică a Soarelui, iar lungimea rezultă din observarea variației diametrului aparent al Soarelui. Diametrul aparent este unghiul sub care observatorul terestru vede diametrul liniar al Soarelui și este egal cu $32' \pm \pm 1\frac{1}{2}'$. Se vede (fig. 30) că $\frac{R}{OP} = \sin \frac{\Delta}{2}$, deci;

$$OP = \frac{R}{\sin \frac{\Delta}{2}}; R \text{ este constant, iar } \Delta \text{ se măsoară.}$$

Fig. 30. Diametrul aparent al Soarelui.



Din studiul orbitei rezultă următoarele:

- Pământul descrie o elipsă, Soarele ocupând unul din focare;
- razele vectoare mătură arii egale în timpuri egale.

Punctul orbitei cel mai apropiat de Soare se numește *periheliu*, iar punctul cel mai depărtat *afeliu*.

Coordonatele ecliptice. Considerând ca sistem de referință planul eclipticii și axa polilor eclipticii III' , se definesc *coordanatele ecliptice*:

— *latitudinea cerească* (β) este unghiul făcut de raza vizuală îndreptată de la observator la stea cu planul eclipticii (fig. 31). Este pozitivă de la ecliptică spre polul nord și negativă de la ecliptică spre polul sud. Cercul de latitudine al stelei este cercul determinat de steaua S și polii eclipticii III' ;

— *longitudinea cerească* (λ) este unghiul diedru format de planul cercului de latitudine al punctului vernal și planul cercului de latitudine al stelei (determinat de stea și polii ecliptici). Se măsoară pe ecliptică în sens direct.

Coordonatele ecliptice nu se măsoară direct, ci se deduc prin calcul din cele ecuatoriale. Se utilizează în problemele de mecanică cerească, unde se consideră ca plan fundamental planul eclipticii.

Punctul vernal (γ) joacă un rol deosebit de important, fiind originea ascensiilor drepte, a timpului sideral și al longitudinilor cerești; pentru aceasta se studiază deplasarea acestui punct.

Deplasarea axei Pământului. Comparând coordonatele ecliptice ale unei stele la intervale mari de timp (de circa 50—100 de ani), cum a făcut Hipparh (150 î.e.n.), se constată că latitudinile rămân aceleași, în timp ce longitudinile cresc anual cu $50''$. 2. Rezultă că punctul vernal (γ) se deplasează în sens retrograd pe ecliptică, ieșind în calea Soarelui, de unde nu-

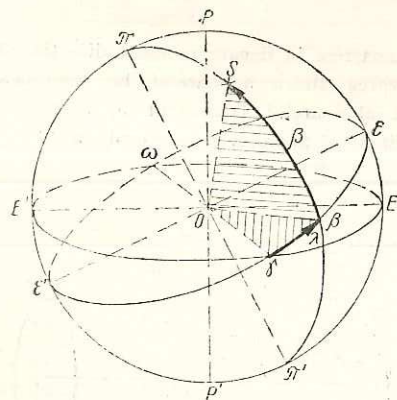


Fig. 31. Coordonatele ecliptice.

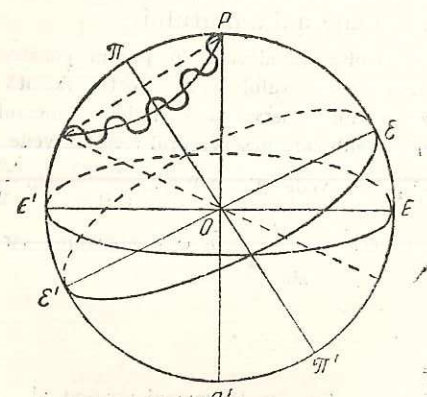


Fig. 32. Precesia și nutația.

mele de *precesia echinocțiilor* dat acestui fenomen. Deplasarea punctului vernal dovedește deplasarea ecuatorului de-a lungul eclipticii, deci rotația axei lumii în sens retrograd în jurul axei polilor eclipticii cu o perioadă de:

$$\frac{360^\circ}{50'',2} \text{ ani} = 26\,000 \text{ ani.}$$

Rezultă că polul cersc P (și analog P') descrie pe sfera cerească un cerc, numit cerc de precesie.

Din cauza precesiei, coordonatele ecuatoriale și cele ecliptice variază anual. Pentru a elimina variația coordonatelor prin mișcarea sistemului de referință impusă de deplasarea punctului vernal, coordonatele ecuatoriale se raportează la un sistem de referință fix, dat de poziția ecuatorului și a punctului vernal la un moment dat de exemplu la începutul anului 1900 sau a anului 2000. Polul P se deplasează printre constelații, de unde rezultă schimbarea lentă a aspectului cerului.

În afară de rotația lentă a întregii sfere cerești, din observații precise se poate constata o oscilare a planului ecuatorului în jurul poziției sale medii cu $\pm 9''$, cu o perioadă de 18,6 ani. Acest fenomen se numește *nutație*. Nutația va determina o deplasare a polilor cerești pe o elipsă, care, compunându-se cu precesia, va da o sinusoidă suprapusă cercului de precesie (fig. 32)

Atât precesia cât și nutația sînt cauzate de atracția exercitată de Lună și Soare asupra proeminenței (umflăturii) ecuatoriale a Pământului (turtirea la poli), cât și dedistribuirea inegală a maselor în interiorul Pământului.

Exerciții

1. Indicați coordonatele ecliptice ale Soarelui:

- în punctele echinocțiale;
- în punctele solstițiale.

2. Specificați latitudinea geografică a jocului care în 22 decembrie are centrul Soarelui în momentul culminației sale superioare, la orizont (neglijînd refracția astronomică).

3. Să se arate cum variază ziua și noaptea în localitățile de latitudine $\varphi = 79^\circ$; $\varphi = 0$; $\varphi = -66^\circ 33'$.

4. Să se afle mărimea operației diurne provenite din mișcarea de rotație a Pământului, știind că viteza liniară a Pământului în mișcarea sa diurnă este de 0,46 km/s iar viteza luminii este egală cu 300 000 km/s.

5. Să se afle cu ajutorul hărții cerești (de la sfîrșitul manualului) în ce constelație se va afla polul nord cersc, în baza fenomenului precesiei, peste 10 000 de ani.

TIMPUL ȘI MĂSURAREA LUI

Mișcările principale ale Pământului — de rotație și revoluție — ne dau și unitățile pentru măsurarea timpului: ziua și anul.

În vechime se presupunea uniformitatea mișcării diurne aparente; noi admitem numai în prima aproximație uniformitatea rotației Pământului. Cauze geofizice și deplasări ale maselor de aer și apă pe suprafața Pământului îi modifică puțin perioada rotație.

Pe această bază vom considera unghiul orar al unui astru ca fiind o mărime proporțională cu timpul, deci poate fi utilizat pentru măsurarea timpului.

În cele ce urmează vom folosi diferite denumiri pentru timp, după astrul a cărui mișcare diurnă o urmărim. Dar nu trebuie să uităm că timpul, ca una din formele de existență ale materiei, este unul și același (diferă numai unitatea sau originea de măsurare a timpului).

Timpul sideral este timpul măsurat prin unghiul orar al punctului vernal (γ). Unitatea de timp sideral este *ziua siderală*: timpul scurs între două culminații superioare consecutive ale punctului vernal (γ)*, submulpliile zilei siderale sînt ora, minutul și secunda siderală. Începutul zilei siderale coincide cu momentul culminației superioare a lui γ .

Un alt timp, legat de viața practică, este *timpul solar adevărat*, măsurat prin unghiul orar al centrului Soarelui. Ca unitate se utilizează *ziua solară adevărată*, adică timpul scurs între două culminații superioare consecutive ale centrului Soarelui. Deci ziua solară adevărată începe în momentul culminației superioare a centrului Soarelui (la miezul zilei).

Pe baza mișcării sale anuale aparente, Soarele, în mișcarea pe paralelul său diurn, rămîne în urmă în fiecare zi cu aproximativ un grad față de

* Datorită fenomenului precesiei, ea diferă cu 0s, 8 față de perioada de rotație a Pământului.

stele (fig. 33), de unde rezultă o decalare zilnică de $3^m 56^s$ a zilei siderale față de ziua solară mijlocie.

Rezultă că începutul zilei siderale are loc în momente diferite ale zilei solare, fapt care face timpul sideral necorespunzător pentru viața practică.

Dar și mișcarea Soarelui are un neajuns pentru determinarea timpului, întrucît nu este uniformă, din următoarele motive:

— *Soarele adevărat*, în mișcarea sa anuală aparentă, descrie ecliptica și nu un cerc paralel cu ecuatorul;

— mișcarea anuală nu este uniformă, ci vara mai înceată, iar iarna este mai rapidă, așa cum vom vedea în capitolul următor.

Pentru aceste motive vom considera un Soare fictiv, care descrie ecliptica cu o mișcare uniformă și trece prin perigeu și apogeu odată cu Soarele. Se numește *Soare mijlociu* un al doilea Soare fictiv, care, parcurgînd ecuatorul cu o mișcare uniformă, trece prin punctul vernal odată cu Soarele fictiv ecliptic. În opoziție cu această ficțiune s-a dat Soarelui denumirea de „adevărat”. Definim *timpul mijlociu* ca fiind timpul măsurat prin unghiul orar al Soarelui mijlociu. Unitatea de timp solar mijlociu este *ziua solară mijlocie*, adică intervalul de timp între două culminații inferioare consecutive ale Soarelui mijlociu la meridianul locului. S-a ales culminația inferioară pentru ca începutul zilei să aibă loc în perioada de întuneric.

Soarele mijlociu, fiind o ficțiune, nu se poate observa, dar poziția lui se poate calcula. Timpul mijlociu diferă de timpul solar adevărat printr-o cantitate numită *ecuația timpului*, sensul cuvîntului ecuație fiind acela de corecție.

$$\text{Timpul mijlociu} = \text{timpul adevărat} + \text{ecuația timpului.}$$

Ecuația timpului este o cantitate variabilă, a cărei valoare este dată pentru fiecare zi de anuarele astronomice. Mărimea ei poate să ajungă la ± 17 minute.

Ziua solară mijlocie, la fel ca cea siderală, se divide în 24 ore, ora în 60 minute și minutul în 60 secunde (de timp mijlociu). Ziua are deci 86 400 secunde. După cum am menționat deja și în cap. I, perioada de rotație a Pământului este mai mică decît o zi solară medie și are 86 164 secunde. Cu alte cuvinte este mai mică tocmai cu $3^m 56^s$.

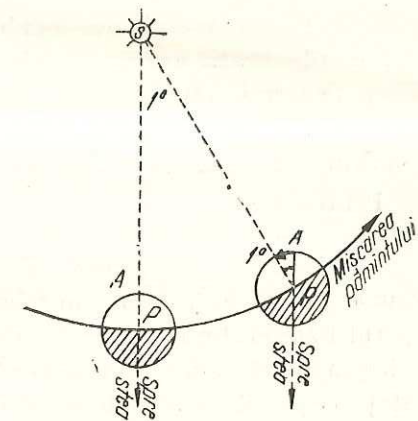


Fig. 33. Ziua solară este mai lungă decît cea siderală cu timpul necesar Pământului de a se roti de unghiul $APS \approx 1^\circ$.

Toate aceste timpuri definite pînă aici sînt *timpuri locale*, deoarece sînt raportate la meridianul locului. Ele se determină ușor: timpul sideral prin observații asupra stelelor, timpul solar adevărat prin observații asupra Soarelui. Dar prezintă inconvenientul că, prin diferențele de la o localitate la alta, utilizarea lor ar stîngheri mult desfășurarea, de exemplu în cadrul unei țări, a activităților de producție.

Pentru evitarea acestui inconvenient s-a adoptat noțiunea de *timp legal*.

Timpul legal este timpul adecvat pentru legăturile interne și externe ale unei țări. A fost stabilit în felul următor: aparent, Soarele descrie 360° în jurul Pămîntului în 24 de ore, deci pe oră se deplasează cu 15° . De aceea s-a împărțit întregul glob terestru în 24 de fuse orare (un fus orar fiind suprafața cuprinsă între două meridiane care diferă cu 15°). S-a considerat pentru toate localitățile dintr-un fus orar că au aceeași oră legală, egală cu timpul mijlociu al meridianului mijlociu al fusului. Avantajul timpului legal este:

- pe o regiune întinsă toate localitățile au același timp;
- la trecerea de la un fus la altul se schimbă timpul numai cu un număr întreg de ore, în timp ce minutele și secunde sînt aceleași pentru toate localitățile globului (fig. 34).

Timpul universal este timpul mijlociu al meridianului origine (meridianul Observatorului de la Greenwich din Anglia). Timpul universal este utilizat în astronomie la întocmirea anualelor astronomice și a efemeridelor*, pentru a evita confuziile în prevederea și observarea fenomenelor.

$\text{Timpul universal} = \text{timpul mijlociu} \pm \text{longitudinea}$; se ia semnul + pentru *longitudinea vestică* și semnul — pentru *longitudinea estică*.

Relația între timpul legal și cel universal este:

$\text{Timpul legal} = \text{timpul universal} \pm n \text{ ore}$, unde n este numărul de ordine al fusului orar, iar semnul + se aplică la est și semnul — la vest de primul meridian. Fusul care are ca meridian mijlociu meridianul de la Greenwich este fusul 0 (între longitudinile $-7^\circ30'$ și $+7^\circ30'$). Ora legală a acestui fus este ora Europei occidentale. Europa centrală are ora fusului 1 (între $7^\circ30'$ și $22^\circ30'$ est). Europa orientală are ora fusului 2 (între longitudinile $22^\circ30'$ și $37^\circ30'$). Țara noastră se află în acest fus, deci la noi timpul legal este:

$\text{Timpul legal} = \text{timpul universal} + 2^h$. Este ora dată la posturile de radioemisie. În cazul cînd o țară este așezată pe două fuse orare vecine, timpul său legal este timpul legal al capitalei sale. În unele țări, s-a introdus, de asemenea, ora de vară, care este în avans cu 1^h față de ora fusului. În țara noastră ora oficială de vară s-a introdus în 1979.

* Efemeridele sînt tabele care indică pozițiile corpurilor cerești la momente date, care formează o progresie aritmetică.

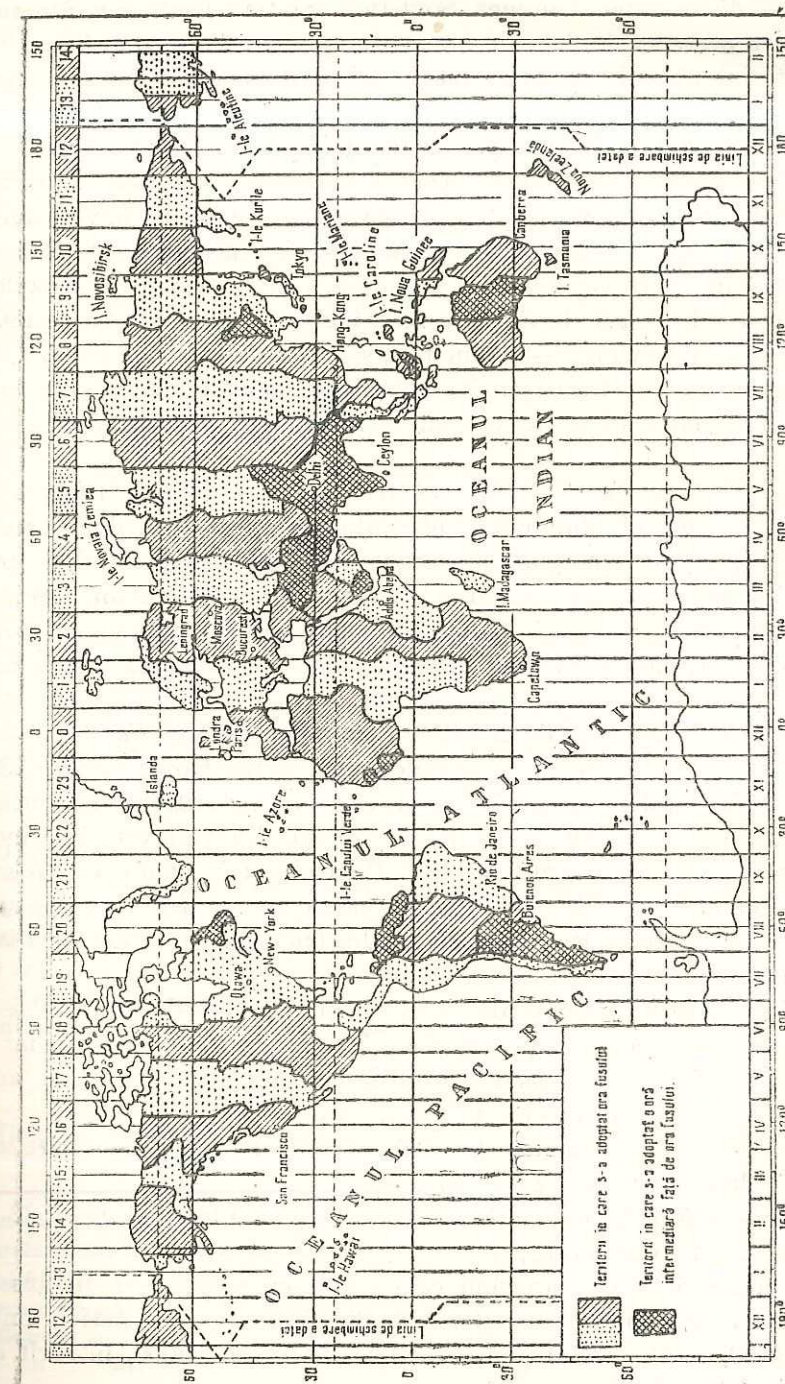


Fig. 34. Fusele orare: Linia schimbării de dată. Harta fuselor orare. Aici au intervenit următoarele schimbări: Franța și Anglia au adoptat ora Europei centrale (ca în fusul orar 1), iar R. P. Chineză are ora fusului 8.

Dacă o țară, datorită mării sale întinderi, este așezată pe mai multe fuse orare — de exemplu Uniunea Sovietică, Statele Unite ale Americii — ea respectă orele legale date de împărțirea pe fuse orare (fig. 34).

Pe teritoriul Uniunii Sovietice este în vigoare timpul decretat = timpul legal + 1^h.

Datorită sistemului de fuse orare, la meridianul 180° există o decalare de 24 de ore între două puncte vecine de o parte și de alta a acestui meridian, și anume la est de acest meridian avem o dată, iar la vest avem aceeași oră, dar data este cu o zi mai mică. Deci este necesară o schimbare de dată ori de câte ori traversăm acest meridian. Pentru evitarea confuziilor, această linie a schimbării de dată, care coincide cu meridianul de 180°, a fost convențional deviată, astfel încât să se evite orice insulă locuită din Oceanul Pacific. Când se traversează această linie, mergând spre est, se scade o zi din dată, iar când se traversează mergând spre vest, se adaugă o zi la dată.

Calendarul. O unitate mai mare de timp ne este dată de mișcarea de translație a Pământului. Numim an intervalul de timp între două treceri consecutive ale Soarelui la punctul vernal. Datorită fenomenului de precesie a echinocțiilor punctul vernal retrogradează cu 50" pe an. Deci, în timp de un an, Soarele descrie 360°—50". Acest an se numește *an tropic* și are aproximativ 365° 05' 48" 46^s (solare mijlocii) = 365,2422 de zile mijlocii.

Timpul în care Soarele descrie 360° se numește *an sideral* și are 365° 06' 09" 09^s (solare mijlocii), adică depășește anul tropic cu 20" 23^s.

Anul tropic, fiind perioada de repetare a anotimpurilor și a muncilor agricole, stă la baza calculului practic al timpului. Acest an este însă incomod, din cauza fracțiunii de zile mijlocii. De aceea se ia *anul calendaristic*, care are un număr întreg de zile, 365 sau 366 de zile, astfel ca echinocțiile și solstițiile să cadă pe aceleași date ale anului (adică să nu se decaleze față de anul tropic).

Calendarul iulian întocmit de Sosigene și decretat de Iulius Caesar (anul 45 î.e.n.) are trei ani consecutivi de 365 de zile (ani comuni), iar al patrulea de 366 zile (an bisect). Dar anul iulian este mai lung decât anul tropic, deci la 400 de ani rămâne în urmă cu aproximativ 3 zile.

În 1582, întârzierea calendarului iulian era de 10 zile, pentru care motiv s-a introdus *calendarul gregorian**, care:

— recuperează întârzierea, decretând ca după 4 octombrie 1582 să urmeze ziua de 15 octombrie;

— elimină întârzierea, hotărând ca dintre anii seculari să fie bisecți numai anii la care numărul secolelor este divizibil cu patru. Astfel, dintre anii 1700, 1800, 1900 și 2000 rămâne bisect numai anul 2000, întrucât are numărul secolelor divizibil cu 4;

* Numit astfel după papa Grigore XIII, care a decretat introducerea lui.

— rămâne încă în urmă cu 1,2 zile la 4 000 de ani, diferență care până în prezent se poate neglija.

Acest calendar este în uz în zilele noastre. La noi a fost introdus de la 14 octombrie 1924.

Calendarele considerate au ca unitate de bază anul tropic, adică perioada mișcării anuale aparente a Soarelui (minus precesia), de aceea se numesc *calendare solare*.

Există calendare care au la bază perioada fazelor lunare, numită perioada sinodică = 29,5036 zile mijlocii. Acestea sînt *calendarele lunare* (cum este cel musulman).

Alte *calendare*, numite *lunisolare*, au la bază atât anul tropic, cât și, perioada sinodică.

Oricare ar fi tipul de calendar, fiecare are ca unități:

- anul, apropiat de cel tropic;
- luna, apropiată de cea sinodică;
- ziua mijlocie.

La acestea se mai adaugă o altă unitate, săptămîna, care, spre deosebire de unitățile anterioare, nu reprezintă o perioadă a mișcării unui corp ceresc, ci o grupare de 7 zile mijlocii, fiecare din ele fiind închinată în vechime cîte uneia din cele 7 planete cunoscute atunci (Soarele și Luna fiind considerate tot planete).

Neajunsul acestor unități este incommensurabilitatea lor:

- anul nu are un număr întreg de luni decât cu sacrificarea constanței acesteia (luna avînd între 28 și 31 de zile mijlocii);
- anul și luna nu au un număr întreg de săptămîni.

O propunere indiană la O.N.U. sugerează un calendar mai rațional, avînd baza trimestrului cu 91 zile = 13 săptămîni și anul cu 364 zile = 4 × 13 săptămîni, ziua a 365 și a 366 (la anii bisecți) fiind considerați sărbători universale (deci nenumerate).

Era calendaristică se numește data de la care începe numărarea anilor. Romanii numărau anii începînd cu întemeierea Romei (*ab Urbe condita*). Lumea creștină a numărat anii de la data arbitrară a unui eveniment mistic, „nașterea lui Cristos”. Această eră aproape generală este în uz și la noi sub denumirea frecventă de „era noastră” (*e.n.*). Înaintea acestei ere, datele se notează însoțite de literele „î.e.n.”.

Timpul astronomic și timpul fizic

Pentru a evita neregularitățile în mișcarea de rotație a Pământului, de la 1 ianuarie 1960 s-a luat ca unitate de bază nu durata perioadei de rotație, ci aceea a perioadei de revoluție a Pământului, adică anul tropic definit mai sus. Trecerea Soarelui la punctul vernal are loc în momentul cînd declinația lui se anulează, trecînd de la valori negative la pozitive. De aici determinarea precisă a anului tropic: timpul scurs între două momente consecutive, cînd declinația Soarelui se anulează, trecînd de la valori negative la pozitive.

1 an tropic = 365,24219878 zile mijlocii = 31 556 925,9747 secunde.

Timpul astfel definit se numește *timpul efemeridelor* și este dat de relația:

timpul efemeridelor = timpul universal + ΔT ,

unde ΔT este o corecție ce se stabilește pe baza observării Lunii și planetelor.

Timpurile definite pînă aici fiind bazate pe una din mișcările Pămîntului se numesc *timpuri astronomice*. Ele au o precizie limitată de aceea a observațiilor astronomice.

O unitate mai precisă decît cele definite mai sus este oferită de frecvența unei tranziții date a atomului de cesiu. Pe această bază se definește *timpul fizic* sau *atomic* utilizat pentru măsurarea precisă a intervalelor foarte scurte de timp.

Odată cu instituirea în 1960 a Sistemului Internațional de Unități (SI) s-a introdus ca unitate de timp secunda de timp al efemeridelor cu fracțiunea $1/31556925,9747$, din durata anului tropic. Ulterior, în 1967 în SI s-a introdus ca unitate secunda de timp atomic, cu durata a 9192631770 perioade ale radiației care corespunde tranziției între cele două nivele de energie hiperfine ale stării fundamentale a atomului de cesiu 133.

Serviciul orei: determinarea orei exacte

Toată activitatea de producție din fabrici, institute, de pe ogoare, din transporturi se petrece în timp și necesită cunoașterea cît mai precisă a orei. În problemele de cercetare științifică, din fizică, chimie, astronomie, precizia cerută merge pînă la o mică fracțiune din secundă.

Din aceste motive, în fiecare țară s-a organizat un serviciu al orei exacte, a cărui sarcină este:

- determinarea orei exacte;
- menținerea ei;
- transmiterea ei.

Determinarea orei exacte se face la observatoarele astronomice, observînd momentul trecerii unui astru la meridianul locului cu ajutorul instrumentelor meridiene. Din formula:

$$\vartheta = \alpha, \text{ cînd } t = 0,$$

avem timpul sideral, care poate fi transformat în oricare alt timp local.

Cum am văzut la problema longitudinilor diferența a două timpuri, a două localități de longitudine L_1 și L_2 este:

$$t_2 - t_1 = L_1 - L_2,$$

de unde se poate obține orice timp local, (deci și cel de la Greenwich) și de aici ora legală.

Menținerea orei exacte se face cu ajutorul unor pendule păstrate la temperatură și presiune constantă, al căror mers (întărirea sau întîrzierea în 24 ore) este proporțional cu timpul. Aceste pendule se numesc *pendule astronomice*.

Pentru măsurarea timpului poate fi utilizată orice mișcare cu perioadă constantă. Vibrația cristalului de cuarț într-un cîmp electric are o frecvență constantă timp îndelungat și este utilizată în ceasuri cu cuarț pentru păstrarea orei exacte.

Asociate cu etaloane de frecvență atomice, formează ceasurile atomice, capabile să asigure timpul cu precizia de 10^{-11} secunde.

Transmiterea orei exacte se face cu ajutorul unor stații de radio automate, care transmit ora dată de pendule sincronizate cu pendula unui observator astronomic.

La noi în țară, Observatorul astronomic din București dispune de un modern serviciu la ore exacte. Păstrarea orei exacte se face cu ajutorul a două orologii cu cuarț, și al unui orgoliu atomic, putîndu-se asigura timpul cu precizie de miliardime de secundă. Postul de radio București, la anumite ore fixe, transmite ora exactă prin șase semnale orare

După cum am văzut în capitolul 1, ora exactă servește și la determinarea longitudinilor geografice, ca și a ascensiilor drepte ale stelelor.

Exerciții

1. Dacă cerul ar fi mereu acoperit de nori cum s-ar putea măsura timpul?

2. Care este diferența timpului local dintre Moscova și Cluj-Napoca, știind că longitudinile acestor orașe sînt $26^{\circ}30'30''$ și $16^{\circ}34'24''$ (ambele longitudini estice)?

3. Care este diferența dintre timpul civil și timpul legal în localitățile Sulina și Drobeta Turnu-Severin știind că longitudinile lor sînt $16^{\circ}58'42''$ și $16^{\circ}30'12''$?

4. La Iași s-a determinat după metoda indicată la punctul 11 c, de la pagina 130, în ziua de 4 iulie unghiul orar al stelei α din Ursa Mare ca fiind de 90° .

Să se afle timpul legal în momentul observației, știind că longitudinea orașului Iași este $16^{\circ}49'54''$, ascensia stelei α din Ursa Mare fiind $11^{\text{h}}02^{\text{m}}$.

5. Într-o localitate, pendula arată timpul civil $13^{\text{h}}05^{\text{m}}22^{\text{s}}$ în momentul cînd timpul universal este 11^{h} . Să se afle longitudinea localității.

6. Doi călători pleacă din Cluj-Napoca în ziua 15 iulie în același moment, unul spre răsărit și altul spre apus, parcurgînd cîte 30° longitudine în fiecare 24 de ore. La ce dată se vor întîlni?

7. Newton s-a născut la 25 decembrie 1642 după stilul vechi. Care este data nașterii sale după stilul nou?

DETERMINAREA DISTANTELOR CEREȘTI

Determinarea distanțelor corpurilor cerești se bazează pe metoda trigonometrică simplă a determinării distanței la un punct inaccesibil, dar vizibil.

Fie un copac C situat dincolo de un râu. Se cere să aflăm distanța de la observatorul din A la copacul C (fig. 35). În acest scop, observatorul măsoară din A în B distanța numită bază. Apoi, cu ajutorul unui instrument universal (sau teodolit), măsoară unghiurile $\hat{A} = \widehat{BAC}$ și $\hat{B} = \widehat{ABC}$. Aplicând triunghiului ABC teorema sinusului, unde $AC = b$ și $AB = c$ avem:

$$\frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}, \text{ dar } \hat{C} = 180^\circ - (\hat{A} + \hat{B}),$$

deci:

$$\sin C = \sin [180^\circ - (A + B)] = \sin (A + B),$$

$$\text{prin urmare: } b = c \frac{\sin B}{\sin(A + B)}.$$

Observatorul, deplasându-se din A la B , aparent deplasează direcția de vizare spre C . Aceasta este *deplasarea paralactică*.

Păstrind baza aceeași, se vede că mărimea unghiului C depinde de distanță: este cu atât mai mare cu cât distanța este mai mică. Unghiul C sub care se vede baza privită din C se numește *paralaxa punctului C* . Distanța este determinată când se cunoaște paralaxa, de aceea determinarea distanțelor se reduce la aceea a paralaxelor.

Paralaxele depind de baza aleasă. Considerând în astronomie două baze, raza Pământului și raza orbitei sale terestre, definim două categorii de paralaxe: paralaxe în sistemul solar (numite diurne) și paralaxe stelare (numite anuale).

Paralaxe în sistemul solar. Pentru precizia determinărilor — întrucât paralaxele sînt mici — este necesar ca bazele să fie cât mai mari posibil și constante. De aceea luăm drept bază raza terestră corespunzătoare locului de observație.*

* Se mai numesc paralaxe diurne, deoarece, din cauza rotației Pământului, direcția formată de locul de observație și obiectul observat (direcția topocentrică), se modifică cu timpul, modificarea fiind periodică, și anume diurnă.

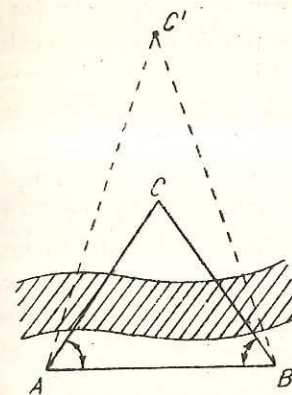


Fig. 35. Determinarea distanței la un punct inaccesibil.

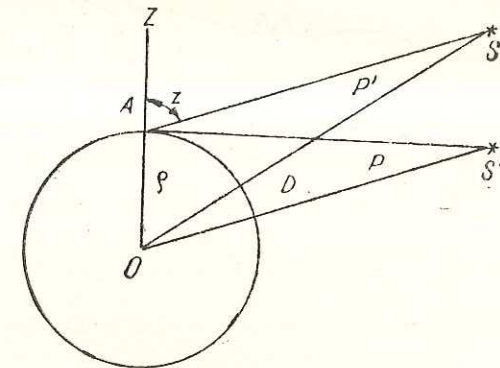


Fig. 36. Paralaxa de înălțime și paralaxa orizontală.

Numim paralaxă de înălțime (p') unghiul sub care observatorul din astru ar vedea raza terestră corespunzătoare locului de observație. Fie astrul S , observat din localitatea A , unde îi determinăm distanța zenitală Z (fig. 36). Notăm cu D distanța la astrul S (considerată de la centrul Pământului) și cu p raza terestră corespunzătoare localității A . Pe baza teoremei sinusului aplicată triunghiului OAS , avem:

$$\frac{p}{\sin p'} = \frac{D}{\sin z}, \text{ de unde } \sin p' = \frac{p}{D} \sin z \approx p',$$

unghiul p' fiind în general mic (de ordinul minutelor de arc) $p' \approx \sin p'$. Se vede că paralaxa de înălțime depinde, pe lângă distanța D , de distanța zenitală z , deci de înălțimea deasupra orizontului și de raza terestră p . Urmărim să definim paralaxa care să depindă numai de distanța D . Întii eliminăm efectul înălțimii, considerând $\sin z = 1$, adică $z = 90^\circ$, adică astrul aflat la orizont în S' . Paralaxa corespunzătoare lui $z = 90^\circ$ se numește paralaxă orizontală (p). Din triunghiul OAS avem:

$$\sin p \approx p = \frac{p}{D}, \text{ de unde } p' = p \sin z,$$

relație care leagă paralaxa de înălțime cu cea orizontală. Pentru a elimina efectul variației razei datorită turtirii Pământului, vom înlocui p cu raza terestră ecuatorială și vom obține astfel paralaxa orizontală ecuatorială.

$$\Pi = \frac{a}{D}.$$

Se vede că determinarea distanțelor depinde de aceea a paralaxelor.

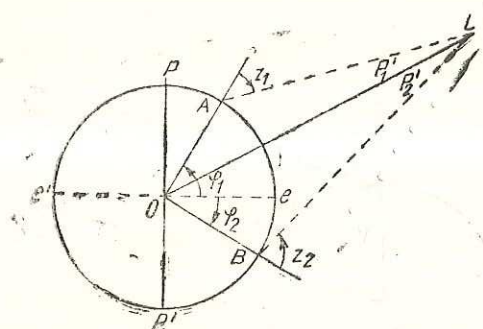


Fig. 37. Determinarea paralaxei Lunii.

latitudinile geografice ale celor două localități, p'_1 și p'_2 paralaxele de înălțime ale Lunii corespunzătoare celor doi observatori. Scriind că suma unghiurilor patrulaterului $OALB$, format de centrul Pământului, cei doi observatori și Lună, face 360° , avem:

$$\varphi_1 + 180^\circ - z_1 + p'_1 + p'_2 + 180^\circ - z_2 + \varphi_2 = 360^\circ,$$

de unde:

$$p'_1 + p'_2 = z_1 + z_2 - \varphi_1 - \varphi_2.$$

Putem exprima paralaxele de înălțime prin cele orizontale:

$$p'_1 = p_1 \sin z_1; p'_2 = p_2 \sin z_2.$$

Considerînd în prima aproximație Pământul sferic, paralaxele orizontale se confundă cu cea orizontală ecuatorială:

$$p_1 = p_2 = \Pi,$$

deci:

$$p'_1 = \Pi \sin z_1; p'_2 = \Pi \sin z_2.$$

De aici, suma paralaxelor de înălțime va fi:

$$p'_1 + p'_2 = \Pi (\sin z_1 + \sin z_2) = z_1 + z_2 - \varphi_1 - \varphi_2,$$

de unde paralaxa orizontală ecuatorială a Lunii:

$$\Pi = \frac{z_1 + z_2 - \varphi_1 - \varphi_2}{\sin z_1 + \sin z_2}.$$

Pentru Lună s-a găsit $\Pi = 57'02''$. S-au determinat apoi paralaxele planetelor, ale Soarelui, care în general sînt mici. Mai mari sînt paralaxele micilor planete, ale cometelor și ale meteoriților care trec în apropierea Pământului. Pentru Soare s-a găsit:

$$\Pi = 8'',80.$$

Distanța D este dată de formula:

$$D = \frac{a \text{ km}}{\Pi \text{ radiani}} = \frac{206265''}{\Pi''} \cdot a \text{ km},$$

întrucît $1 \text{ rad} = 206265''$. Considerînd pentru raza ecuatorială terestră valoarea $a = 6378,16 \text{ km}$, avem pentru distanțe:

— la Soare: $D_\odot = 149\,500\,000 \text{ km}$;

— la Lună: $D_\oplus = 384\,400 \text{ km} \approx 60$ raze terestre.

Metoda paralaxelor nu este unică pentru determinarea distanțelor. Radiolocația ne permite o determinare precisă a distanțelor la corpurile cerești învecinate. Ea constă în trimiterrea unei radiunde de lungime de undă determinată, emisă în direcția corpului ceresc respectiv. Izbîndu-se de suprafața acestuia, radiunda se reflectă și este recepționată de observator. Măsurînd timpul dintre momentul emisiei și cel al recepției radiunde și cunoscînd viteza ei, se determină precis distanța. Au fost emise radiunde spre Lună, spre planetele Venus, Mercur și Marte, găsindu-se rezultate care verifică pe cele determinate prin paralaxe, precizîndu-le. Astfel s-a găsit $D_\odot = 149\,600\,000 \text{ km}$.

Distanțele cerești sînt prea mari pentru a fi exprimate în unități de lungime terestră, de exemplu în kilometri. De aceea s-a ales o altă unitate potrivită pentru sistemul solar, și anume distanța medie de la Pământ la Soare, denumită *unitate astronomică*:

$$1 \text{ U.A.} = D_\odot = 149\,600\,000 \text{ km}.$$

Determinarea dimensiunilor corpurilor cerești. Fie Pământul P și un astru S , aflat la distanța D , cunoscută (fig. 38). Să notăm cu a raza terestră și cu R raza astrului. De pe Pământ putem măsura unghiul 2β sub care se vede diametrul astrului. Din triunghiul PAS avem:

$$R = D \sin \beta.$$

Pentru Lună, $\beta_\oplus = 15',5$, de unde $R_\oplus = 0,27$ raze terestre.

Pentru Soare, $\beta_\odot = 16'$, de unde $R_\odot = 109$ raze terestre.

Paralaxe stelare (anuale). Distanțele stelare fiind prea mari față de cele planetare, raza Pământului — neglijabilă față de distanța steii — nu poate constitui o bază. Natura ne furnizează o bază prin mișcarea anuală a Pământului. Este distanța medie de la Pământ la Soare, adică o unitate astronomică.

Se numește *paralaxă anuală* unghiul sub care se vede din centrul steii raza orbitei terestre în momentul cînd este perpendiculară pe direcția Pământ-stea (fig. 39).

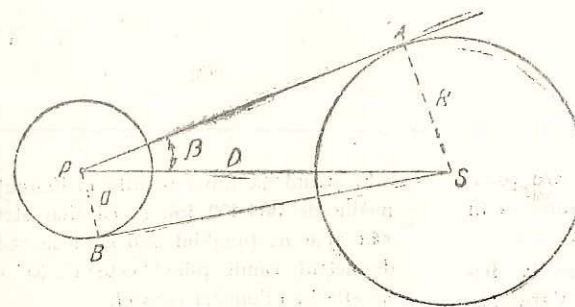


Fig. 38. Determinarea dimensiunilor corpurilor cerești.

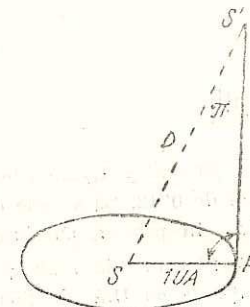


Fig. 39. Paralaxa stelară.

Din triunghiul PSS' avem:

$$\sin \Pi = \frac{SP}{D} \text{ sau } \Pi \approx \frac{SP}{D} \text{ radiani, dar } SP = 1 \text{ U.A.,}$$

$$\text{de unde } D = \frac{1}{\Pi \text{ rad.}} \text{ U.A.} = \frac{206\,265''}{\Pi''} \text{ U.A.}$$

Paralaxei $\Pi = 1''$ îi corespunde distanța:

$$D = 206\,265 \text{ unități astronomice} = 1 \text{ parsec.}$$

Parsecul este unitatea pentru distanțele stelare. Exprimând distanța în parseci, rezultă formula simplă: $D = 1/\Pi''$. Deci distanța (în parseci) este inversul paralaxei (în secunde de arc).

O unitate frecvent folosită este *anul lumină*; este distanța parcursă de lumină timp de un an.

1 an lumină = numărul secundelor dintr-un an $\times$ viteza luminii = 63 300 unități astronomice = 0,3 parseci.

1 parsec = 3,26 ani lumină.

Datorită mișcării anuale a Pământului, un observator terestru în cursul unei jumătăți de an sideral este transportat de la o extremitate la alta a unui diametru al orbitei terestre, de unde posibilitatea de a determina *paralaxele*, numite din acest motiv *anuale*.

Paralaxele stelare sînt foarte mici, de ordinul zecimilor și al sutimilor din secunda de arc, deoarece distanțele stelare sînt foarte mari. Cea mai mare paralaxă $\Pi = 0'',76$ s-a găsit pentru steaua Proxima Centauri, care este cea mai apropiată de noi, la distanța de 1,3 parseci = 4,3 ani lumină.

Cea mai mică paralaxă stelară măsurabilă cu mijloacele actuale este de $0'',01$, de unde rezultă că pe calea trigonometrică, descrisă mai sus, putem determina distanțele stelelor aflate pînă la 100 de parseci de noi.

Distanțele mai mari de 100 de parseci se determină pe alte căi.

Deplasările paralactice ale unei stele timp de un an dau elipsa de paralaxă anuală, care constituie, după cum am văzut, una din dovezile realității mișcării de revoluție a Pământului.

Exerciții

1. Steaua α Lyrae (Vega) are paralaxa de $0'',12$. Să se afle distanța sa în U.A., în parseci, ani lumină.

2. Planeta Pluto se găsește la distanța de 40 U.A. de Soare. Care este Paralaxa orizontală ecuatorială a acestei planete?

3. Știind că Luna se află la distanța medie de 384 400 km și că diametrul său aparent (unghiul sub care se vede diametrul Lunii pline) este de $31'$, să se afle în kilometri raza ei.

CAPITOLUL VI

MIȘCAREA PLANETELOR

1. Mișcarea aparentă a planetelor și explicarea acestei mișcări

Din antichitate s-a observat că, în timp ce marea majoritate a astrilor nu-și schimbă pozițiile unii în raport cu alții (reciproce), unii astri răătăcesc printre stele prin diferite constelații zodiacale. Aceștia au fost numiți *planete*. Privite cu luneta, ele apar cu un diametru care crește odată cu puterea de mărire a lunetei. Mai mult, planetele nu scînteiază ca stelele (a căror strălucire și culoare variază în mod neîntrerupt din cauza atmosferei).

În antichitate se cunoșteau șapte planete, care, în ordinea așezării lor față de Pământ erau: Luna, Mercur, Venus, Soarele, Marte, Jupiter și Saturn. Soarele și Luna erau considerate planete, deoarece își schimbă poziția față de stele deplasîndu-se în sens direct. Celelalte planete se deplasează cînd în sens direct, cînd în sens retrograd, trecînd de la un sens la altul printr-o oprire aparentă numită *stație*.

Planetele Mercur și Venus au fost numite *inferioare*, deoarece, fiind între Pământ și Soare, erau considerate ca „mai jos” decît Soarele. Ele sînt văzute totdeauna în vecinătatea Soarelui fie seara după apusul Soarelui, în *elongație estică* (elongația fiind distanța unghiulară dintre Soare și planetă), fie dimineața înainte de răsăritul Soarelui, în *elongație vestică* (fig. 40).

Planetele Marte, Jupiter și Saturn erau numite *superioare* (adică „mai sus” decît Soarele). O planetă superioară se îndepărtează de Soare, descrie o buclă, apoi ajunge din urmă Soarele (fig. 41).

Poziția aparentă a planetei se definește față de Soare prin diferența dintre longitudinea sa (λ) și a Soarelui (λ_s):

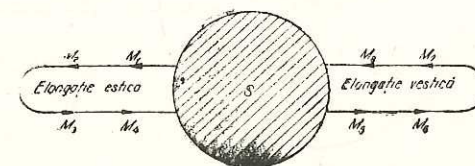


Fig. 40. Mișcarea aparentă a unei planete inferioare.

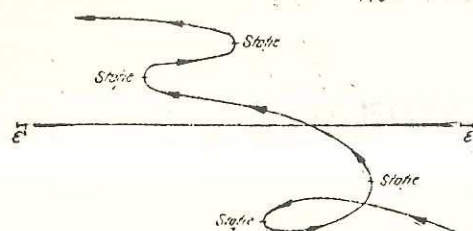


Fig. 41. Mișcarea aparentă a unei planete superioare.

se numește *revoluția sinodică* a planetei. Intervalul de timp în care longitudinea planetei crește cu 360° (în care își descrie orbita completă) se numește *revoluție siderală* (fig. 43).

Cei vechi au constatat că mișcările neregulate (în aparență) ale planetelor sînt capricioase și din ignoranță le-au legat de soarta omului. De aici ideea de a citi din mișcarea planetelor viitorul omului. De dragul acestei idei greșite s-a dus o muncă imensă pentru a descifra mișcarea planetelor. Aceasta a prilejuit și multe observații, care, interpretate just mai târziu, au permis descoperirea legilor mișcărilor reale ale planetelor.

Conducîndu-se după aparențe, cei vechi susțineau că toate corpurile cerești se mișcă în jurul Pămîntului fix, aflat în centrul Universului. Platon (427—347 î.e.n.) și Aristotel (384—322 î.e.n.) considerau planetele ca fiind prinse în cîte o sferă de cristal, care le poartă în jurul Pămîntului. Deci sistemele lor asupra structurii lumii erau *geocentrice*.

Claudiu Ptolemeu (sec. II e.n.) sintetizează toate sistemele geocentrice în lucrarea sa *Almagest*. După teoria lui, toate planetele (7 la număr) descriu orbite circulare, cu o mișcare uniformă în jurul Pămîntului.

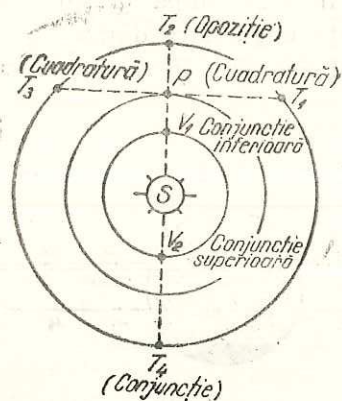


Fig. 42. Pozițiile caracteristice ale unei planete în raport cu Soarele.

- cînd $\lambda - \lambda_s = 0$, planeta este în *conjunție* cu Soarele;
- cînd $\lambda - \lambda_s = 90^\circ$ sau 270° , planeta este în *cuadratură* cu Soarele;
- cînd $\lambda - \lambda_s = 180^\circ$, planeta este în *opozitie* cu Soarele (fig. 42).

Intervalul de timp dintre două opoziții (sau conjuncții) succesive

se numește *revoluția sinodică* a planetei. Intervalul de timp în care longitudinea planetei crește cu 360° (în care își descrie orbita completă) se numește *revoluție siderală* (fig. 43).

Cei vechi au constatat că mișcările neregulate (în aparență) ale planetelor sînt capricioase și din ignoranță le-au legat de soarta omului. De aici ideea de a citi din mișcarea planetelor viitorul omului. De dragul acestei idei greșite s-a dus o muncă imensă pentru a descifra mișcarea planetelor. Aceasta a prilejuit și multe observații, care, interpretate just mai târziu, au permis descoperirea legilor mișcărilor reale ale planetelor.

Conducîndu-se după aparențe, cei vechi susțineau că toate corpurile cerești se mișcă în jurul Pămîntului fix, aflat în centrul Universului. Platon (427—347 î.e.n.) și Aristotel (384—322 î.e.n.) considerau planetele ca fiind prinse în cîte o sferă de cristal, care le poartă în jurul Pămîntului. Deci sistemele lor asupra structurii lumii erau *geocentrice*.

Claudiu Ptolemeu (sec. II e.n.) sintetizează toate sistemele geocentrice în lucrarea sa *Almagest*. După teoria lui, toate planetele (7 la număr) descriu orbite circulare, cu o mișcare uniformă în jurul Pămîntului.

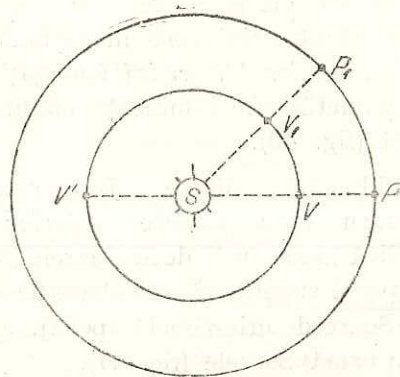


Fig. 43. Într-o revoluție siderală, planeta V descrie orbita completă $VV'V$. Într-o revoluție sinodică, planeta V descrie drumul $VV'V_1 = VV'V + VV_1$.

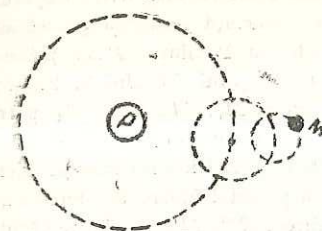


Fig. 44, a. Sistemul geocentric al lui Ptolemeu planeta M descrie primul epiciclu.

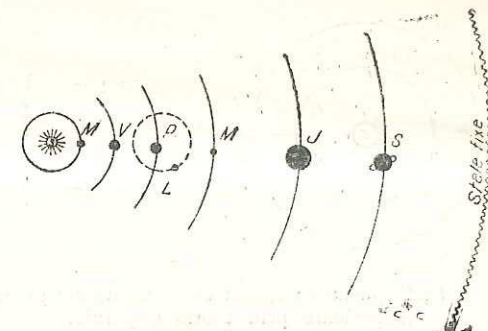


Fig. 44, b. Sistemul heliocentric al lui Copernic.

Pentru a explica mișcarea aparentă a planetelor, el susține că — cu excepția Lunii și a Soarelui — fiecare planetă descrie cîte un cerc mic (*epiciclu*), al cărui centru descrie în jurul Pămîntului un cerc mare (*deferentul*), admițînd chiar mai multe epicicli pentru aceeași planetă (fig. 44, a).

Alături de concepția geocentrică au existat în antichitate și minți luminate, care au întrezărit adevărul. Cu veacuri înainte, Aristarh din Samos (sec. III î.e.n.) a arătat că este mai logic a așeza Soarele mare în centrul Universului. Universul, fiind foarte mare, nu se poate roti în jurul Pămîntului, ci Pămîntul este o planetă oarecare, cu mișcare de rotație în jurul axei sale.



Nicolai Copernic.

Astronomului Nicolai Copernic (1473—1543) îi revine gloria de a fi descoperit că Pămîntul este o planetă. El constată că orbitele lui Mercur și Venus nu cuprind Pămîntul și, spre deosebire de celelalte planete, sînt convexe față de Pămînt. De aici se deduce că locul Pămîntului cu Luna este între orbita convexă a lui Venus și orbita concavă a lui Marte, deci în *rîndul planetelor*, iar locul Soarelui în centrul Universului. Sistemul său cu Soarele în centru este un *sistem heliocentric* (fig. 44, b). Sistemul lui Copernic are următoarele caracteristici:

- Soarele și stelele sînt imobile;
- planetele Mercur, Venus, Pămînt, Marte, Jupiter și Saturn efectuează mișcări de revoluție în jurul Soarelui;
- în timp ce Pămîntul descrie orbita în jurul Soarelui într-un an, execută și rotații diurne în jurul axei sale;
- toate mișcările au același sens.

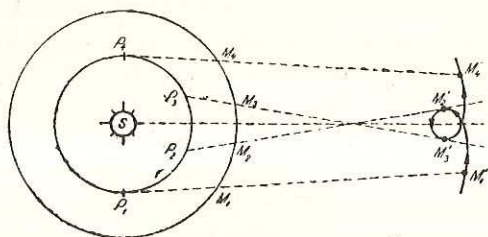


Fig. 45. Explicarea mișcării aparente a unei planete superioare prin teoria Copernic.

Astfel, la fiecare opoziție, planeta va fi văzută descriind o buclă (fig. 45). Așezînd Pămîntul în rîndul planetelor, Copernic sfidează autoritatea bisericii, înlăturînd existența deosebirii dintre „pămîntesc” și „ceresc”. Dar păstrează pe mai departe falsul postulat al mișcării circulare și uniforme, fapt care-l împiedică să studieze mișcarea reală a planetelor.

Concepția lui Copernic este cuprinsă în opera sa *De revolutionibus orbium coelestium* (1543), adică *Despre mișcările de revoluție ale corpurilor cerești*.

2. Lupta pentru sistemul heliocentric

Ideile lui Copernic explicau mișcarea aparentă a planetelor, dar nu dispuneau de dovezi necesare, mai ales că deplasările aparente ale stelelor (elipsele de parallaxă) sugerate de Copernic nu erau puse în evidență cu mijloacele modeste de observare existente în epoca lui.

Ele au avut puțini partizani, dar înflăcărați.

Giordano Bruno (1548–1600) a fost nu numai propagatorul înflăcărat al ideilor lui Copernic, dar le-a depășit mult pe acestea. El considera Universul nemărginit, deci centrul lui nu este în Soare, ci oriunde. În acest spațiu, stelele sînt sori, avînd planete în jurul lor care se rotesc ca și Pămîntul în jurul soarelui lor. Admite că unele din aceste nenumărate planete pot fi locuite.

Ideile lui Bruno erau opuse celor admise de biserică, care susținea că Pămîntul cu locuitorii săi este unic. De aceea, în anul 1600 a fost ars pe rug de către inchiziție.

În anul 1616, inchiziția constată că „erezia” provine de la opera lui Copernic, care este pusă sub index (interzisă de a fi citită).

Galileo Galilei (1564–1642) în cursurile sale ținute la universitățile din Pisa și Padua a expus cu multă convingere sistemul heliocentric al lui Copernic. În 1609 a construit prima lunetă astronomică, cu ajutorul căreia, observînd corpurile cerești, aduce primele dovezi materiale în sprijinul heliocentrismului, și anume:

— vede suprafața accidentată a Lunii, asemănătoare cu cea pămîntescă, și ajunge la convingerea inexistenței deosebirilor dintre „ceresc” și „pămîntesc”, susținute de doctrina lui Aristotel;

— descoperă primii patru sateliți ai lui Jupiter, pe care îi observă că se rotesc în jurul lui Jupiter, și nu în jurul Pămîntului;

— descoperă fazele planetei Venus și variația diametrului său aparent, de unde deduce că planeta Venus primește lumina de la Soare și se rotește în jurul acestuia;

— descoperă petele de pe suprafața Soarelui și cu ajutorul lor rotația Soarelui în jurul axei sale;

— vede Calea Lactee descompunîndu-se într-o mulțime de stele mici, deci Universul care este foarte mare nu se poate roti în 24 de ore în jurul Pămîntului.



Galileo Galilei.

Dar inchiziția îl silește ca să renunțe în scris la ideile heliocentrice, cuprinse în lucrările sale *Sidereus nuncius* (1612)* și *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632)**, și-l obligă să stea restul vieții sale în localitatea Arcetri (Italia), lângă Florența.

3. Mișcarea reală a planetelor

În a doua jumătate a secolului al XVI-lea, un observator neegalat, învățatul danez Tycho Brahe (1546–1601), cu ajutorul instrumentelor sale fără lunete, adună un bogat material de observații, erorile lor fiind mai mici de 2–3', cu scopul de a confirma teoria lui Ptolemeu. Lasă toate observațiile sale asistentului său Johann Kepler (1571–1630), care continuă observațiile asupra planetei Marte. El compară observațiile cu calculul bazat pe ipoteza mișcărilor circulare în sistemul geocentric, dar găsește diferențe de peste 7', care nu puteau fi atribuite erorilor de observație ale profesorului său. Atunci trece la sistemul heliocentric. Combinînd potrivit observațiile, deduce orbita reală a planetei Marte în jurul Soarelui ca fiind o *elipsă*. Apoi găsește orbita eliptică și celelalte planete. Stabilește legile de mișcare ale planetelor, legi care-i poartă numele (*legile lui Kepler*), cuprinse în operele sale *Astronomia nova* (1609) *Astronomia nouă* și *Harmonices mundi libri V* (1619) [*Cinci cărți despre armonia lumii*].

**Cuvîntul sideral.*

***Dialog despre cele două sisteme principale ale lumii* Editura Științifică, București, 1962.



Johann Kepler.

Legea I: Fiecare planetă descrie o elipsă, Soarele ocupând unul din focare.

Elipsa este o curbă plană definită ca locul geometric al punctelor pentru care suma distanțelor la două puncte fixe numite focare este constantă. Mărimea elipsei este dată de *semiaxa mare* a , iar forma ei de *excentricitate* ei $e = \frac{OF}{OA} = \frac{c}{a}$ care este raportul dintre distanța focarului la centrul elipsei și semiaxa mare.

Punctul elipsei cel mai apropiat de Soare se numește *periheliu*, iar cel mai depărtat *afeliu*.

Legea a II-a: Raza vectorie pornind de la Soare la planetă măsoară arii egale în timpuri egale (legea ariilor).

Raza vectorie a planetei este segmentul de dreaptă care unește planeta cu centrul Soarelui. Se vede că în baza acestei legi la periheliu viteza planetei este mai mare, iar la afeliu este cea mai mică (fig. 46).

Legea a III-a: Pătratele perioadelor siderale de revoluție sînt proporționale cu cuburile semiaxelor mari ale orbitelor lor.

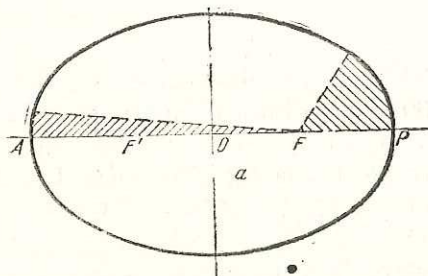


Fig. 46. Legea I și a II-a a lui Kepler.

La aceste trei legi se pot adăuga următoarele indicații:

— planele orbitelor planetare sînt aproape confundate cu planul eclipticii. Numai planul orbitei planetei Mercur este înclinat cu 7° față de planul eclipticii, iar al planetei Venus este înclinat cu $3^\circ 24'$. Pentru toate celelalte planete înclinările sînt mai mici de 2° ;

— toate orbitele planetare sînt parcurse în același sens, sensul astronomic direct.

Notînd cu T și T' perioadele siderale de revoluție ale planetei și ale Pămîntului și cu a și a' semiaxele orbitelor lor, putem scrie:

$$\frac{T^2}{T'^2} = \frac{a^3}{a'^3}.$$

Cunoscînd datele referitoare la Pămînt, ca și perioada planetei, se poate calcula semiaxa mare a orbitei planetei.

4. Legea atracției universale

După descoperirea legilor lui Kepler a rezultat că lumea planetelor este un sistem unitar încheiat.

Nu se cunoștea însă cauza care face ca planetele să descrie orbite în jurul Soarelui. Ideea unei forțe atractive se impunea tot mai mult.

Savantului englez Isaac Newton (1643—1727) îi revine meritul de a fi rezolvat această problemă în lucrarea sa *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principiile matematice ale filozofiei naturii*, 1687), în care dovedește, pe baza legilor lui Kepler, existența forței gravitaționale, expresia ei matematică și universalitatea ei.

Într-adevăr, să considerăm o planetă P (fig. 47), asupra căreia nu acționează nici o forță. Conform principiului inerției, ea se va mișca rectiliniu și uniform. La intervale de cîte o secundă se va afla în pozițiile P_1 , P_2 și P_3 , echidistante. Soarele fiind în S .

Conform primei legi a lui Kepler, la sfîrșitul secunde a doua planetă nu se va afla în P_3 , ci în A , orbita ei fiind o elipsă. Evident că

$\Delta P_1SP_2 = \Delta P_2SP_3$, deoarece SP_2 este comună

$P_1P_2 = P_2P_3$ și $SP_2 \perp P_1P_3$ prin construcție.

În baza legii a doua a lui Kepler, aria $P_1SP_2 =$ aria P_2SA fiind descrise în timpuri egale. Deci aria $P_2SP_3 =$ aria P_2AS . Cele două triunghiuri avînd baza comună, rezultă că și înălțimile lor sînt egale:

$$AB \parallel P_2P_3,$$

deci figura ABP_2P_3 este un paralelogram.

Deplasarea reală $\vec{P_2A}$ a planetei este suma a două deplasări

$$\vec{P_2A} = \vec{P_2P_3} + \vec{P_3B},$$

prima $\vec{P_2P_3}$ datorită principiului inerției, iar a doua $\vec{P_2B}$ îndreptată spre Soare, datorită atracției Soarelui. Deci, așa cum indică deplasarea, forța atractivă este o forță centrală, direcția ei trecînd mereu prin centru, care în cazul nostru este Soarele.

Mai departe, Newton găsește expresia matematică a forței atractive.

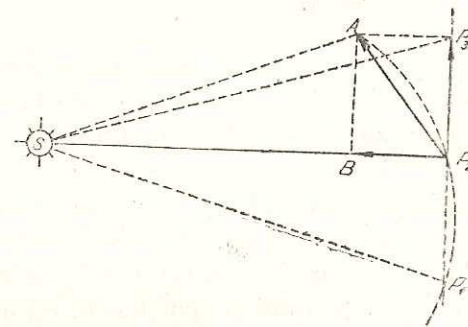


Fig. 47. Dovedirea existenței forței atractive.



Isaac Newton.

El arată că în sistemul solar Soarele atrage planetele cu o forță direct proporțională cu masele lor și invers proporțională cu pătratul distanțelor d la Soare. Pe baza principiului egalității acțiunii și reacțiunii, el presupune că și planeta respectivă (cu masa m) atrage Soarele (având masa M) cu aceeași forță, de unde:

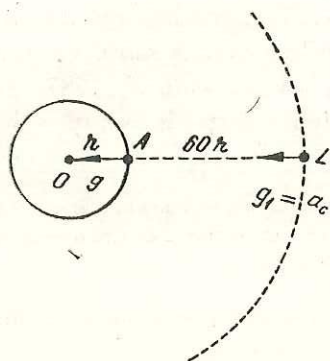


Fig. 48. Universalitatea legii atracției

unde f este constanta atracției universale și are valoarea $f = 6,67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{g}^{-1} \text{s}^{-2} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$. Ea se poate determina experimental (experiența lui Cavendish).

Pentru a verifica universalitatea acestei legi, Newton arată identitatea forței centripete în mișcarea orbitală a Lunii cu forța gravitațională terestră la distanța Lunii (adică forța care imprimă Lunii mișcarea orbitală este aceeași cu forța care produce greutatea corpurilor la distanța Lunii). Forța fiind proporțională cu accelerația, arată că cele două accelerații sînt egale.

Expresia accelerației centripete în mișcarea circulară (orbitele planetelor fiind aproape circulare) este:

$$a_c = \frac{V^2}{R}, \text{ unde } V = \frac{2\pi R}{T} \text{ (} R \text{ fiind raza cercului, iar } T \text{ perioada mișcării), deci}$$

$$a_c = \frac{4\pi^2 R}{T^2}. \text{ Punind } R = 384\,000 \text{ km, distanța medie de la Pămînt la Lună, și } T = 27 \times 7 \text{ h}$$

43 min 5, perioada revoluției sidereale lunare, obținem:

$$a_c = 2,7 \text{ mm/s}^2.$$

Pe de altă parte, accelerația este invers proporțională cu pătratul distanței. Notînd cu g accelerația, gravitației la distanța r (pe suprafața terestră) și cu g_1 la distanța $60r$ (distanța Lunii) (fig. 48) avem:

$$\frac{g}{g_1} = \frac{(60r)^2}{r^2} = 3\,600, \text{ de unde:}$$

$$g_1 = \frac{g}{3\,600} = \frac{9\,810}{3\,600} \text{ mm/s}^2 = 2,7 \text{ mm/s}^2.$$

Deci:

$$a_c = g = 2,7 \text{ mm/s}^2.$$

5. Probleme de mecanică cerească

Am văzut că forța de atracție universală este cauza care produce mișcarea planetelor și a corpurilor cerești în general. Pornind de la legea atracției universale, putem determina legile de mișcare ale corpurilor cerești. Aceasta constituie problema fundamentală a mecanicii cerești.

Întîi vom considera, pentru simplificare, că avem numai două corpuri, care se mișcă fiecare sub acțiunea forței de atracție a celeilalte. Aflarea legilor de mișcare a celor două corpuri constituie *problema celor două corpuri*. Este mai ușor să considerăm unul din corpuri fix și să determinăm mișcarea celui de-al doilea în raport cu primul (mișcare relativă). Legile mișcării care rezultă din calcule sînt *legile generalizate ale lui Kepler*:

1) Un corp descrie o conică (elipsă, parabolă, hiperbolă), în jurul primului, așezat în unul din focare.

2) Razele vectoare descriu în planul orbitei arii proporționale cu timpul.

3) Raportul dintre produsul pătratului perioadei sidereale de revoluție a unei planete prin suma maselor Soarelui și a planetei și dintre cubul semiaxei mari a orbitei este constant.

$$\frac{T^2(M+m)}{a^3} = \frac{T_1^2(M+m_1)}{a_1^3} = \text{const.}$$

Spre deosebire de legile (empirice) ale lui Kepler, care exprimă mișcarea planetelor, legile generalizate sînt valabile pentru mișcarea oricăror două corpuri (comete, sateliți artificiali, rachete cosmice, stele duble).

Legea a treia servește și pentru determinarea maselor corpurilor cerești. Astfel, considerînd sistemul Soare-Pămînt și Pămînt-Lună, se poate determina masa Soarelui.

Notînd cu M, m, m_1 masa Soarelui, a Pămîntului și a Lunii, cu T, a și T_1, a_1 perioadele sidereale, respectiv semiaxele mari ale Pămîntului și ale Lunii, avem (fig. 49):

$$\frac{M+m}{m+m_1} = \frac{\frac{M}{m} + 1}{\frac{m_1}{m} + 1} = \frac{T_1^2}{T^2} \cdot \frac{a^3}{a_1^3}.$$

Știînd că $T_1 = 27,32$, $T = 365,26$, $a = 149\,600\,000 \text{ km}$, $a_1 = 384\,400 \text{ km}$ și

$$\frac{m_1}{m} = \frac{1}{81,3}, \text{ rezultă:}$$

$$\frac{M}{m} = 333\,000.$$

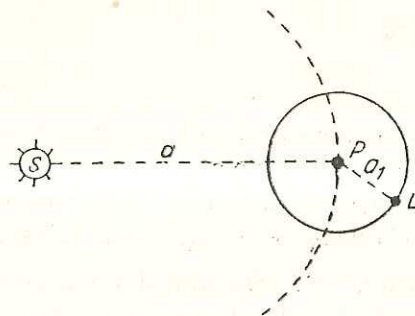


Fig. 49. Determinarea masei Soarelui.

mărimi, numite *elementele orbitei*. Ele definesc orbita și mișcarea corpului pe ea.

Cunoscând elementele unei orbite, putem calcula, pentru un moment oarecare t , coordonatele α , δ ale planetei, adică *efemerida planetei*.

Efemerida (poziția dinainte calculată) nu este verificată întocmai de observații, deoarece problema celor două corpuri nu ne dă soluția exactă a mișcării unui corp. În natură, orice corp se mișcă sub acțiunea tuturor celorlalte corpuri, adică soluția precisă ne poate fi dată numai de *problema a n corpuri*, care, din cauza dificultăților de calcul, nu poate fi în general rezolvată.

Aici însă natura ne oferă un prețios sprijin. Forța atractivă variind invers proporțional cu pătratul distanței, acțiunea majorității corpurilor (prea îndepărtate) devine neglijabilă. Rămân doar un număr limitat de corpuri care se iau în considerare. Dintre acestea, acțiunea unuia este preponderentă; el constituie *corpul central*, care imprimă corpului dat o mișcare după legile lui Kepler. Acțiunile celorlalte corpuri produc doar mici devieri de la orbita kepleriană, numite *perturbații*. Cunoscând pozițiile și masele acestor corpuri, prin *metoda perturbațiilor* putem determina perturbațiile, deci orbita reală a planetei pe baza unui număr mare de observații. De exemplu, în cazul Pământului, Soarele este *corpul central*, iar planetele și Luna sînt *corpuri perturbatoare*.

Sub acțiunea maselor perturbatoare, orbitele planetare se modifică puțin. Dar în cursul miliardelor de ani perturbațiile nu se acumulează punînd în pericol stabilitatea sistemului nostru planetar? Calculele arată că perturbațiile se compensează, nemodificînd structura sistemului solar. Deci sistemul solar este stabil. Astronomul român Spîru Haret* a dovedit că axele mari ale orbitelor planetare prezintă mici variații seculare. De

* Spîru Haret (1851—1912), profesor de mecanică la Universitatea din București. Celebru prin teza sa de doctorat *Asupra invariabilității axelor mari ale orbitelor planetare* (Paris 1878).

Cunoscînd masa Pământului $m = 5,98 \times 10^{27}$ g, masa Soarelui este $M = 1,99 \cdot 10^{33}$ g.

Cunoscînd masa Soarelui, se poate determina masa oricărei planete cu satelit, considerînd că — cu excepția Lunii și a cîtorva alți sateliți — masa satelitului este neglijabilă în raport cu aceea a planetei.

Rezolvînd ecuațiile de mișcare ale unui corp în jurul *corpului central* (corpul presupus fix), rezultă șase

asemenea, profesorul Nicolae Coculescu* a adus contribuții prețioase în problema perturbațiilor, iar rezultatele obținute sînt citate de marele matematician francez Henri Poincaré în tratatul său de mecanică cerească.

6. Descoperirea planetelor Neptun și Pluton

În 1781, astronomul amator englez William Herschel (1738—1822) a descoperit, cu ajutorul telescopului construit de el, a șaptea planetă în ordinea distanțelor la Soare, Uranus. Studiîndu-se mișcarea acestei planete noi, la începutul secolului al XIX-lea, au fost puse în evidență perturbații, care nu puteau fi atribuite în întregime planetelor cunoscute. S-a presupus că ele sînt datorate unei alte planete necunoscute.

Astronomul francez Leverrier (1811—1877) și-a propus să rezolve problema: cunoscînd perturbațiile produse de o planetă, să se determine masa, orbita și poziția ei la un moment dat. În septembrie 1846, la cererea lui Leverrier, astronomul Galle de la Berlin găsește noua planetă la numai 52' de poziția indicată de acesta. Ea a fost numită Neptun. Astronomul englez Adams a rezolvat aceeași problemă înaintea lui Leverrier, dar neîncrederea compatrioților săi a făcut ca meritul descoperirii să-i revină lui Leverrier.

Chiar și după descoperirea planetei Neptun mai rămîneau nejustificate o parte din perturbațiile planetei Uranus, care indicau existența unei planete transneptuniene. După observații laborioase, în 1930 a fost descoperită această planetă și denumită Pluto.

Problema perturbațiilor a dat și pe mai departe roade. Detectîndu-se perturbații în orbita companionului la unele stele duble (61 Cygni, 70 Ophiuchi), s-au putut determina masele perturbatoare al treilea corp al sistemului) ca fiind de ordinul de mărime a lui Jupiter, deci mase planetare. Astfel a fost pusă în evidență existența altor sisteme planetare, infirmîndu-se încă o dată afirmația că Pământul ar avea o poziție excepțională în Univers.

7. Alte consecințe ale perturbațiilor

Mareele. Fenomenele precesiei și nutației descrise la capitolul III, care au drept consecință deplasarea axei terestre, sînt tot consecințe ale perturbațiilor, care au loc datorită formei nesferice a Pământului, ca și a inegalei repartiții a masei din interiorul scoarței terestre.

Pe malul mărilor deschise și al oceanelor se poate observa o creștere a nivelului apei timp de $6^h 12^m,5$, numită *flux*, urmată de o scădere a nive-

* Nicolae Coculescu (1866—1952), profesor de astronomie și mecanică cerească la Universitatea din București, fondatorul Observatorului astronomic din București, (1908).

lului apei tot timp de $6^h 12^m,5$, numită *reflux*. Fenomenul se repetă avînd perioada de $12^h 25^m$. Această schimbare periodică a nivelului oceanelor și mărilor reprezintă fenomenul mareelor (fig. 50).

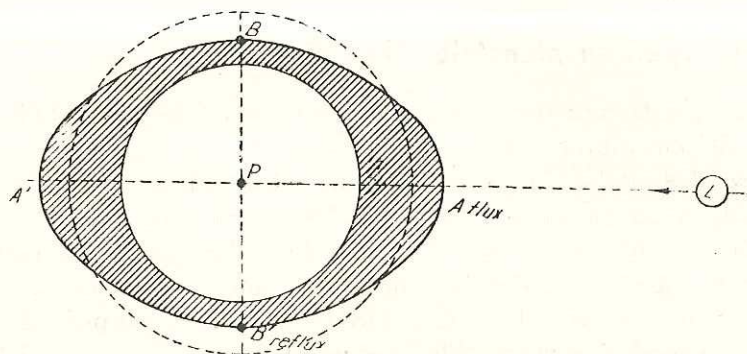


Fig. 50. Mareele.

Fluxul producîndu-se în direcția Lunii, avînd valoarea maximă în momentul trecerii Lunii la meridianul locului, se vede că este datorat atracției exercitate de Lună asupra scoarței lichide, care imprimă fiecărui punct o anumită accelerație înspre Lună. Sub acțiunea acestei forțe, suprafața lichidă va lua o formă alungită înspre Lună și în direcția diametrului opusă Lunii. Întrucît accelerația a variază invers proporțional cu pătratul distanței, avem $a_A > a_P > a_{A'}$, deci moleculele din A și A' se vor îndepărta de diametrul BB' . Rezultă că în punctele A și A' (ca și pe toate cele aflate pe meridianul AA') va avea loc *flux*, în timp ce în B și B' va avea loc *reflux*.

O acțiune similară, dar cu o forță de 2,2 ori mai mică, exercită Soarele asupra scoarței lichide, avînd o perioadă de 12^h . Cînd Luna și Soarele trec deodată la meridianul unui loc (în conjuncție sau opoziție), avem *flux maxim*, iar la cuadraturi, acțiunile lor fiind perpendicular e avem *flux minim*.

Datorită configurației țărmurilor și a fundului mărilor, fluxul rămîne în urmă față de trecerea Lunii la meridianul locului cu un interval de timp numit *corecția portului*.

Cele mai înalte marea se produc pe țărmul de est al Canadei, atin-gînd aici 22m. În mările închise, ca Marea Neagră, ele ating abia cîțiva centimetri.

Putem aminti și de mareele atmosferei și ale scoarței solide. La București, amplitudinea mareelor scoarței terestre atinge 35 cm.

Mareele au o influență covârșitoare asupra navigației în apropierea porturilor.

8. Mișcarea Lunii: fazele ei

Luna, satelitul natural al Pămîntului, se află la distanță de 60,3 raze terestre de Pămînt, adică 384 400 km. Diametrul Lunii reprezintă 0,27 din diametrul Pămîntului, adică 3 476 km.

Observînd Luna cu ochiul liber, ajungem la două constatări:

— Luna participă la mișcarea diurnă, dar se deplasează printre stele în sens direct (ceea ce se vede ușor cînd Luna se găsește în apropierea unei stele strălucitoare);

— aspectul Lunii prezintă variații frapante: de la conjuncția cu Soarele, cînd este invizibilă (Luna nouă), jumătate din disc devine vizibil (primul pătrar,) apoi devine total vizibil (Lună plină) în opoziție, scăzînd la o jumătate de disc (ultimul pătrar) și apoi pînă la invizibilitate. Aceste succesiuni formează fazele Lunii (fig. 51).

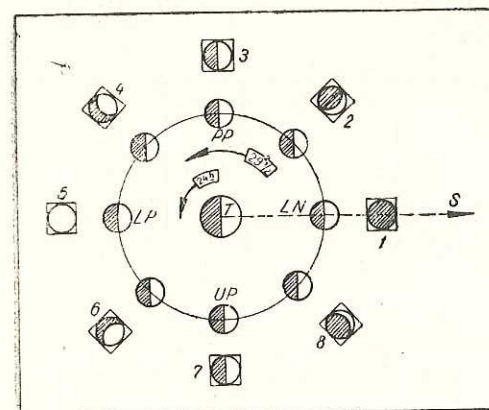


Fig. 51. Fazele Lunii.

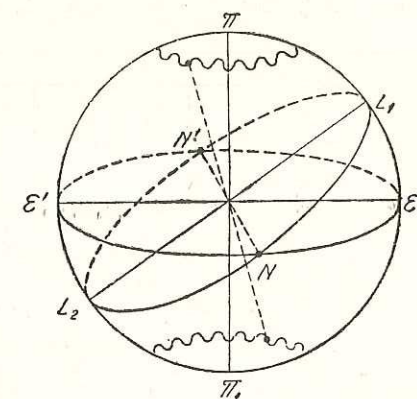


Fig. 52. Proiecția mișcării Lunii pe sfera cerească.

Măsurînd zilnic coordonatele centrului Lunii, constatăm că proiecția lui pe sfera cerească descrie în sens direct un cerc mare: *orbita lunară*, în intervalul de 27,3 zile mijlocii, numit *perioada revoluției siderale*. Aceasta este mișcarea aparentă. Orbita lunară formează cu ecliptica un unghi de $5^{\circ}9'$ și taie ecliptica în două puncte, numite *noduri*, unite prin *linia nodurilor* (fig. 52).

Mișcarea reală a Lunii are loc în jurul Pămîntului, după legile lui Kepler; deci orbita reală este o elipsă, a cărei excentricitate este de aproximativ trei ori mai mare decît a celei terestre și are valoarea 0,055. Perigeul și apogeul se află respectiv la 57 și 64 de raze terestre.

Orbita kepleriană este numai prima aproximație a orbitei reale, care se deter-mină cu multă dificultate, deoarece marea masă a Soarelui nu poate fi considerată

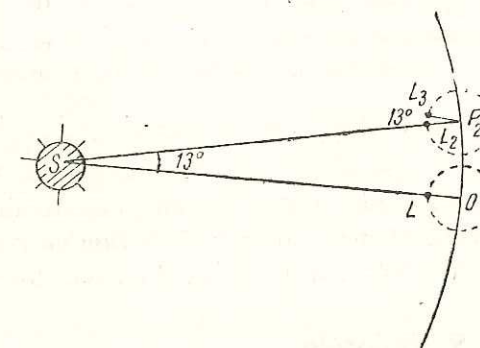


Fig. 53. Luna sinodică este mai lungă decît cea siderală.

ca masă perturbatoare, deci problema este a trei corpuri (Soare-Pământ-Lună), la care se adaugă perturbația pricinuită de planetele sistemului solar. De aici rezultă perturbații puternice, și anume:

- retrogradarea liniei nodurilor (analog precesiei), cu perioada de 18,6 ani;
- nutația axei orbitei lunare (analogă celei terestre), cu amplitudinea de $\pm 9''$, cu perioada aproximativă de 6 luni.

Urmărind detaliile suprafeței lunare, observăm că Luna ne prezintă mereu aceeași față: concluzia este că în timpul unei revoluții efectuează și o rotație în jurul axei sale (cu perioada de 27,3 zile).

Datorită unor neregularități în mișcarea Lunii, observatorul poate vedea 59% din discul lunar. Acest fenomen se numește *librație*. Inter-

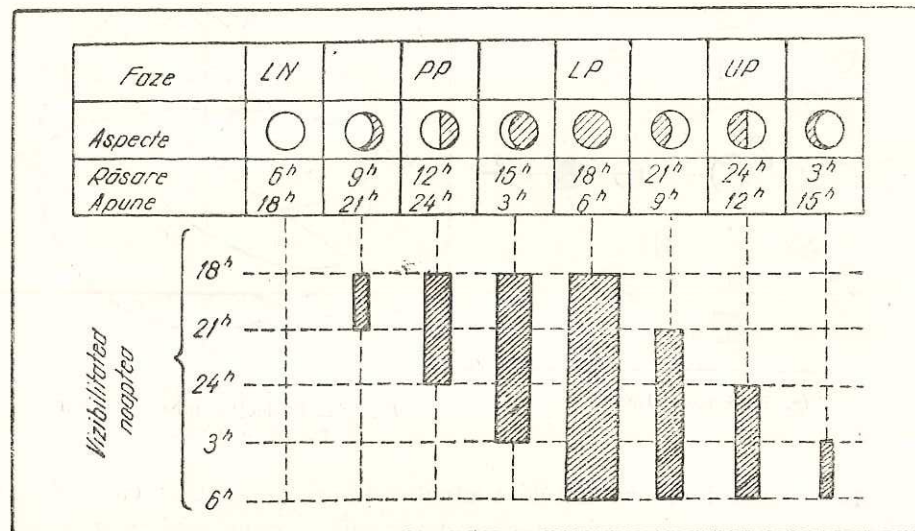


Fig. 54. Vizibilitatea Lunii în diferite raze (partea hașurată a discurilor reprezintă partea luminată de Soare).

valul de timp scurs între două conjuncții consecutive se numește *revoluție sinodică* sau *lunație*. Durata sa este de 29,5 zile.

Revoluția sinodică este mai mare decât cea siderală, ceea ce se vede ușor din figura 53;

— în timpul unei revoluții lunare, Pământul se deplasează cu 13° . Pentru conjuncție

este necesar să fie descris și unghiul $\angle L_2 P_2 L_3 = \angle P_2 S P_1 = 13^\circ$.

În apropierea fazei de *Lună nouă*, fiind luminată o mică porțiune a discului lunar, restul discului este luminat mai slab de lumina pe care o reflectă planeta noastră. Este *lumina cenușie a Lunii*.

Vizibilitatea Lunii în diferitele faze se poate vedea în figura 54.

9. Eclipsele

Se înțelege prin *eclipsă* fenomenul prin care un astru fără lumină, intrând în conul de umbră al unei planete, este lipsit de lumina Soarelui.

De exemplu, Luna sau sateliții unei planete pot fi eclipsați. Aici avem o lipsire reală de lumină, vizibilă din orice punct al globului terestru unde aceste astre sînt deasupra orizontului.

Cînd un astru este ascuns vederii noastre de un alt astru, avem fenomenul de *ocultație*. Astfel, Soarele sau stelele pot dispărea în dosul discului lunar. Acest fenomen este vizibil numai din anumite puncte ale globului terestru. Impropiu, ocultația Soarelui din partea Lunii o numim *eclipsă de Soare*, noțiunea de ocultație rămînînd numai pentru stele.

Dacă planul orbitei lunare ar coincide cu planul eclipticii, atunci la fiecare *Lună nouă* am avea eclipsă de Soare (datorită conjuncției), iar la fiecare *Lună plină* am avea eclipsă de Lună (datorită opoziției). Dar planul orbitei lunare formînd cu ecliptica un unghi de $5^\circ 09'$, eclipsele pot avea loc numai cînd, în fazele de *Lună nouă* și *Lună plină*, Luna se află în apropierea nodurilor (fig. 55).

În figură putem urmări condițiile de producere a eclipselor. În pozițiile T_1 și T_2 , eclipsele sînt imposibile, deoarece la conjuncție sau opoziție Luna nu este în planul eclipticii. Din contră, în pozițiile T_3 și T_4 , conjuncția și opoziția avînd loc pe linia nodurilor, eclipsele sînt posibile.

Într-un an putem avea:

- cel mult șapte eclipse, dintre care 4—5 sînt de Soare și 2—3 sînt de Lună;
- cel puțin două eclipse, ambele fiind de Soare.

Încă din vechime eclipsele au fost prezise cu multă ușurință, deoarece s-a observat că se repetă după 223 luni sinodice = 18 ani, 11 zile, 7 ore. Această perioadă s-a numit de către caldeenii *saros*. Fiecare saros conține 71 de eclipse dintre care 43 de Soare și 28 de Lună. Deși sînt mai puțin numeroase, eclipsele de Lună par mai frecvente, fiind vizibile de pe jumătatea globului, unde Luna este deasupra orizontului în momentul eclipsei.

a) *Eclipsele de Lună* sînt:

- *totale*, cînd Luna intră în întregime în conul de umbră al Pământului;
- *parțiale*, cînd Luna intră numai în parte în conul de umbră al Pământului.

Să urmărim posibilitatea producerii eclipselor de Lună. Fie Soarele în S, Pământul P și orbita Lunii cercul punctat (fig. 56).

Lungimea conului de umbră al Pământului rezultă din asemănarea triunghiurilor BSP și DPC:

$$\frac{PC}{PS} = \frac{DP}{BS}, \text{ de unde } PC = \frac{DP \cdot PS}{BS} = \frac{R \cdot 23 \cdot 400 R}{109 R - R} = 217 R.$$

Raza orbitei lunare fiind 60 R, Luna poate intra în conul de umbră.

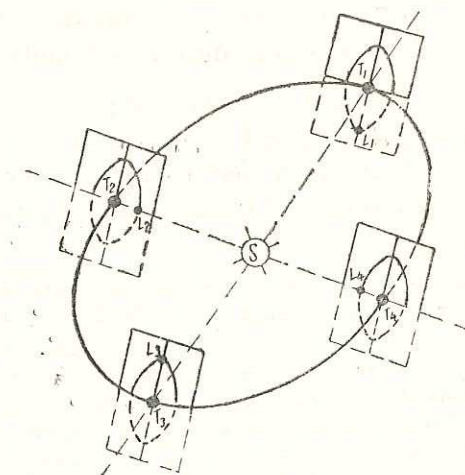


Fig. 55. Condițiile de producere a eclipselor.

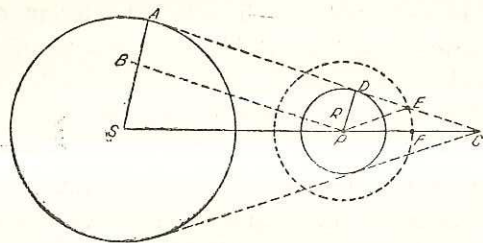


Fig. 56. Posibilitatea eclipselor de Lună.

În timpul eclipsei totale de Lună, discul lunar nu este complet invizibil, ci are o culoare roșie-închis, fiind luminat în acest timp numai de razele refractate de către atmosfera terestră. Traversarea conului de umbră al Pământului durează cel mult două ore.

b) Eclipsale de Soare sînt:

- parțiale, cînd discul Lunii acoperă parțial discul Soarelui;
- totale, cînd discul Lunii acoperă în întregime discul Soarelui;
- inelare, cînd discul Lunii acoperă numai regiunea centrală a discului solar.

Ca și la Lună, putem determina lungimea conului de umbră lunar. Se obține $58 R$. Distanța de la Pământ la Lună variind între $55 R$ și $63 R$, conul de umbră poate atinge suprafața terestră (eclipsă totală) sau numai prelungirea conului (eclipsă inelară). Pata de umbră de pe Pământ în timpul eclipselor este foarte mică: diametrul ei este de cel mult 300 km la eclipsa totală și 400 km la eclipsa inelară. Ea se deplasează pe suprafața terestră cu o viteză de circa 500 m pe secundă, deci într-un loc dat durată eclipsii totale depășește foarte rar 6 minute. Eclipsale totale sînt foarte rare: într-un loc dat, la $200-300$ de ani o dată se poate vedea o eclipsă totală (fig. 57).

În țara noastră, ultima eclipsă totală de Soare a fost văzută la 15 februarie 1961 , durată maximă a eclipsei fiind de $2\frac{1}{2}$ minute (fig. 58 și fig. 59). Următoarele eclipsale totale de Soare vizibile în țara noastră vor avea loc la 11 august 1999 și la 7 octombrie 2135 .

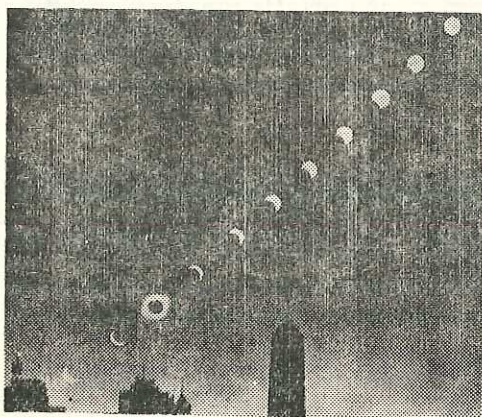


Fig. 57. Desfășurarea unei eclipse totale de Soare (din 30. VI. 1954).

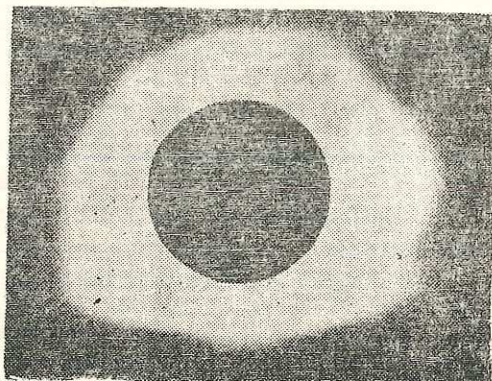


Fig. 58. Eclipsa totală de la București 15. II. 1961.

Eclipsale totale de Soare sînt ocazii rare pentru studiul atmosferei solare exterioare. De aceea ele sînt mult urmărite, organizîndu-se expediții științifice în zone de vizibilitate. Eclipsale de Lună nu au importanța celor solare, dar sînt utile pentru corectarea teoriei mișcării lunare.

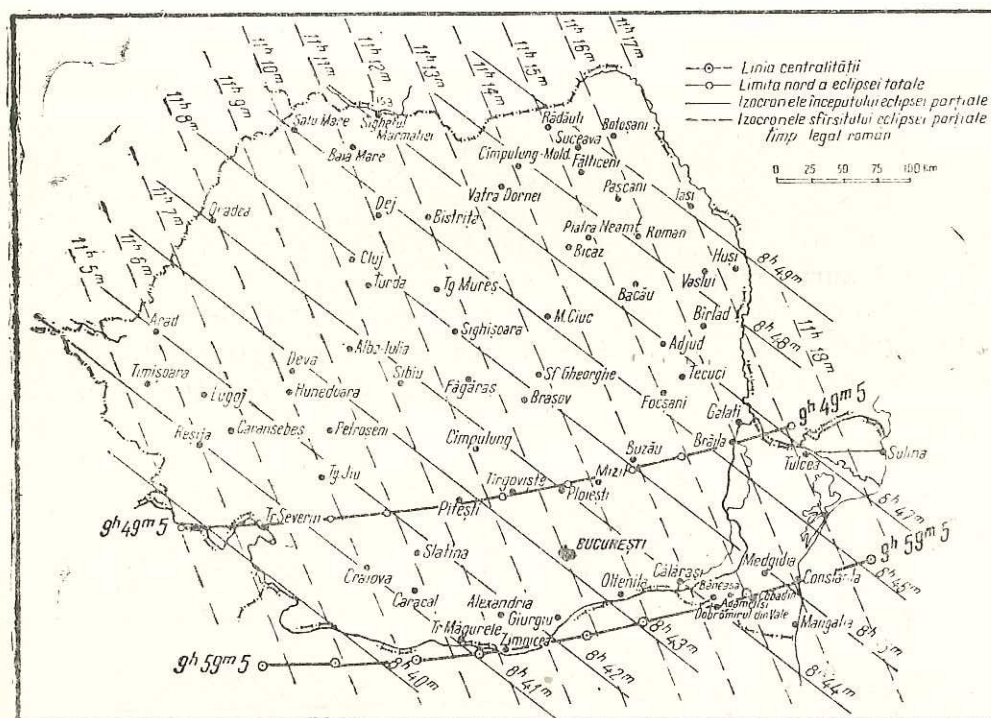


Fig. 59. Izocronale începutului și sfîrșitului eclipsei de Soare de la 15. II. 1961 pe teritoriul României.

Exerciții

1. Să se calculeze forța de atracție a Soarelui asupra Pământului, știind că masa Soarelui are $2 \times 10^{33} \text{ g}$, masa Pământului $6 \times 10^{27} \text{ g}$ și distanța dintre ele $r = 1,5 \times 10^{13} \text{ cm}$.

2. Să se determine masa planetei Marte în unități de masă terestră știind că satelitul ei Phobos are semiaxa de 9350 km și perioada de $0,32$ zile, iar satelitul Pământului Luna are semiaxa de 384400 km , iar perioada sa siderală de $27,3$ zile.

3. Care este lungimea zilei solare pe Lună? Dar lungimea zilei siderale?

4. La ce oră a răsărit azi Luna, văzînd-o că este în faza de primul pătrar? La ce oră aproximativ va răsări mâine?

5. În timpul fazei de Lună nouă, observatorul de pe Lună ar putea vedea Pământul?

6. Știind că azi Luna este la ultimul pătrar, peste cîte zile poate avea loc o eclipsă de Soare? Dar o eclipsă de Lună?

7. Între ce date ale anului eclipsale de Soare pot fi văzute la polul nord?

8. Care ar fi pe Lună greutatea unui om de 60 kg pe Pământ?

METODE ȘI INSTRUMENTE PENTRU STUDIUL UNIVERSULUI

Un observator de pe Pământ, protejat de atmosfera terestră, își dă seama de existența corpurilor cerești prin radiațiile pe care le primește de la ele. Noile cercetări au confirmat faptul că orice corp ceresc emite radiații pe toate lungimile de undă. Atmosfera terestră opacă permite să treacă numai radiațiile din două domenii înguste (fig. 60), și anume:

— primul domeniu este al radiațiilor caracterizate prin lungimi de undă cuprinse între 2 900 și 8 000 de angströmi (un angström este a suta milioana parte dintr-un centimetru, numit și „fereastră”, optică. Prin ea vedem corpurile cerești.

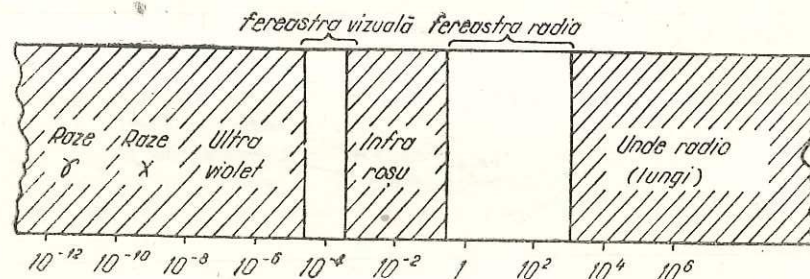


Fig. 60. Existența celor două ferestre ale atmosferei terestre.

— al doilea domeniu este acela al radiațiilor care au lungimi de undă cuprinse între 1 cm și 20 m, numit și „fereastră” radio. Prin ea primim unde radio chiar și de la corpurile cerești aflate dincolo de limitele vizibilității.

Absorbția radiațiilor ar fi mult mai atenuată în afara atmosferei terestre, unde am primi nestingherit radiațiile cuprinse între 100 de angströmi și 1 km. Astfel de observații s-ar putea realiza de pe o platformă extraterestră sau de pe Lună; în prezent se realizează cu ajutorul sateliților artificiali și al rachetelor cosmice.

După domeniul spectral în care observăm astrii, avem: astronomia optică, radioastronomia, X-astronomia, gama-astronomia (ultimele două numai prin observații extraterestre) etc.

Existența celor două ferestre de observare a corpurilor cerești impune două categorii de metode și instrumente de observare: optice (astronomice) și radioastronomice.

Instrumentele optice

Instrumentele optice (astronomice) sînt mijloacele de cercetare a astrilor în domeniul astronomiei. Le-am întîlnit în capitolele precedente, avînd menirea de a determina poziția astrilor: instrumente universale, meridiane, ecuatoriale. Pe lîngă cercurile gradate pentru măsurare, fiecare instrument avea o lunetă care fixa direcția de observat.

Dar instrumentele astronomice mai au rolul de a condensa razele de lumină de la un astru cu ajutorul obiectivelor puternice de care dispun. Energia condensată este proporțională cu pătratul diametrului obiectivului. De aici tendința de a construi obiective cît mai mari pentru a putea vedea aștri cu strălucire cît mai mică (deci cît mai îndepărtați). După obiectivul utilizat, avem două categorii de instrumente optice:

— Lunete sau refractoare, care au ca obiectiv sisteme de lentile. Posibilitățile de construcție limitează la 1 m diametrele lentilelor. Observatorul din București dispune de o lunetă care are marele ecuatorial fotografic și vizual dublu, fiecare din cele două obiective avînd diametrul de 38 cm și distanțele focale de 6 m. Observatorul din Cluj dispune de o lunetă cu obiectivul de 20 cm și distanța focală de 3 m.

— Telescoape sau reflectoare, care au ca obiectiv o oglindă parabolică.

Deși mai greu de minuit, telescoapele depășesc mult în mărime lunetele, construcția oglinzilor fiind mai ușoară. Cele mai mari telescoape sînt cel din Caucaz (U.R.S.S.), cu oglinda cu diametrul de 6 m, și cel de la Mount Palomar (S.U.A.), care are obiectivul cu diametrul de 5,08 m (fig. 61).

Menționăm, de asemenea, faptul că la 25 aprilie 1990 a fost lansat în spațiu, de la bordul navei spațiale Discovery, telescopul spațial Hubble, cu oglinda cu diametrul de 2,4 m. În țara noastră, observatoarele din București și Cluj dispun de telescoape cu oglinzi de 50 cm diametru.

Pentru a avea un cîmp cît mai mare, o mare luminozitate și a se elimina deformarea imaginilor (efectul de comă) produs de oglinzile parabolice, se utilizează oglinzi sferice cu placă de corecție (B. Schmidt, 1930), sau culențilă menisc de corecție (D. Maksutov, 1941), obținîndu-se telescoape care au calitățile atît ale reflectoarelor, cît și ale refractoarelor.

Imaginea astrului formată în focar este privită

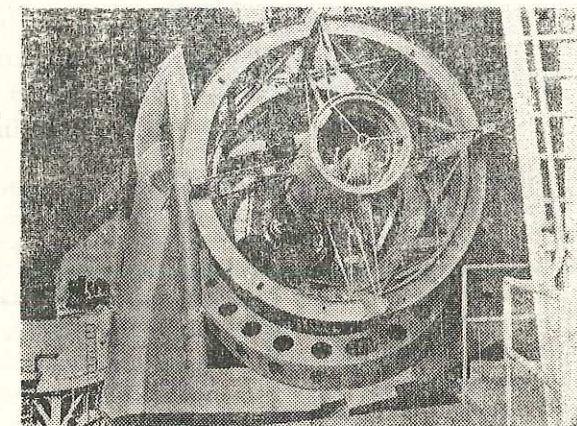


Fig. 61. Reflectorul de 5,08 m de la Mount Palomar (S.U.A.).

A se observa astronomul așezat în cușca centrală, chiar în focarul principal al reflectorului.

cu un ocular. Dar ochiul nu este de ajuns de sensibil și obosește ușor. De aceea la majoritatea instrumentelor ocularul este înlocuit cu o cameră fotografică, în care placa mai sensibilă decât ochiul acumulează lumina astrilor, fiindu-i astfel accesibili aștri mult mai slabi. Placa fotografică lucrând în timp, instrumentul dispune de un mecanism de antrenare, care permite urmărirea unui astru aflat în mișcare diurnă aparentă.

Aceste instrumente se numesc *astrografe*. Ele sînt utilizate pe o scară din ce în ce mai largă, deoarece, pe lângă avantajele amintite, placa fotografică constituie un document care se studiază în laborator și se păstrează în bibliotecile „de sticlă” ale observatorului (dulapuri cuprinzînd clișee fotografice).

Se poate obține o creștere a energiei primite de la o stea, cu ajutorul *camerei electronice* (A. Lallemand, 1937) atașate la un telescop. Lumina de la o stea cade pe catodul unei celule fotoelectrice, care emite electroni. Se mărește energia acestora prin accelerarea lor, se refocalizează pe o placă sensibilă pe care dau o imagine mult întărită. Astfel, în câteva minute de expunere, se obține o poză care cu tehnica clasică necesita zeci de ore de expunere.

Instrumentele astronomice, condensînd în focarele lor lumina care poate fi analizată în diferite moduri, permit cercetarea condițiilor fizice și a compoziției chimice a astrilor. Cu acest studiu se ocupă *astrofizica*.

Metodele de cercetare ale astrofizicii

De compoziția chimică a materiei și de condițiile fizice în care se găsește depinde energia pe care o radiază astrul. Dacă energia primită este suficientă, vom studia fiecare radiație în parte; în acest caz facem *spectroscopie*. Dacă energia primită este prea mică, putem să studiem radiația globală într-un domeniu sau în întregime; în acest caz facem *fotometrie*.

Spectroscopia sau analiza spectrală este cel mai puternic instrument al astrofizicii. Pentru a studia radiațiile emise de un corp, vom descompune lumina pe care o emite, cu ajutorul *spectroscopului* (fig. 62). Lumina astrului cade pe fanta F aflată în focarul lentilei L_1 , care ne dă un fascicul paralel. Acesta este dispersat de prisma A , care, pentru fiecare lungime de undă, ne dă cite un fascicul paralel. Lentila L_2 face ca fiecare din aceste fascicule să dea în planul său focal cite o imagine a fantei. Acestea așezate una lângă alta după lungimea de undă dau *spectrul*, care poate fi văzut mai bine cu ajutorul unui ocular. În planul focal al lentilei L_2 se poate pune o placă fotografică, pe care se obține *spectrograma*, adică fotografia spectrului. Acest aparat este *spectrograful* (fig. 63).

Fizicianul german Kirchhoff (1861) a descoperit că diferitele corpuri dau spectre diferite. Astfel, corpurile solide, lichide și gazoase dense, în stare incandescentă, emit un spectru continuu, deoarece, sursa radiind

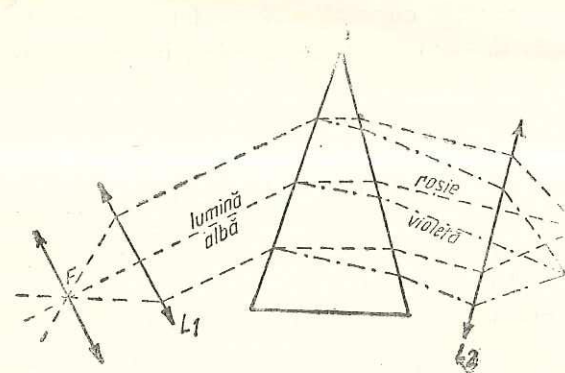


Fig. 62. Schema spectroscopului.

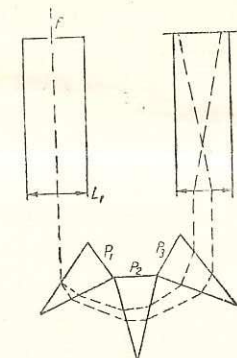


Fig. 63. Schema spectrografului.

pe toate lungimile de undă, imaginile fantei se succedă strîns (fig. 64,1). Corpurile gazoase și vaporii în stare de luminescență (de exemplu sub acțiunea unei descărcări electrice) dau un spectru compus numai din cîteva linii aflate pe un fond întunecat (fig. 64,2). Liniile emise sînt totdeauna aceleași pentru un element chimic aflat în aceleași condiții fizice. Cînd avem un amestec de mai multe elemente chimice în stare de luminescență, fiecare element își produce independent spectrul său de linii. Acest fapt se află la baza analizei spectrale: identificînd într-un spectru oarecare liniile spectrale ca aparținînd diferitelor elemente, găsim elementele care compun acel corp.

Mai mult, pe baza lărgimii mai mari sau mai mici a liniilor unui anumit element, a conturului acestora, se calculează abundența lui în corp care dă lumina.

Spectrele continue sau de linii luminoase sînt *spectre de emisie*.

Dacă în fața sursei care dă spectru continuu se află gaze sau vaporii la o temperatură mai mică decât a sursei, acestea vor absorbi din spectrul continuu chiar acele linii pe care ele le emit cînd sînt luminescente. Spectrul continuu va apărea brăzdat de linii negre (linii Fraunhofer). Acest spectru este de *absorbție* (fig. 64.).

Soarele, format din gaze dense la temperaturi mari, dă un spectru continuu, din care atmosfera sa proprie ca și cea a Pămîntului absorb un mare număr de linii (circa 22 000). Identificînd aceste linii prin compa-

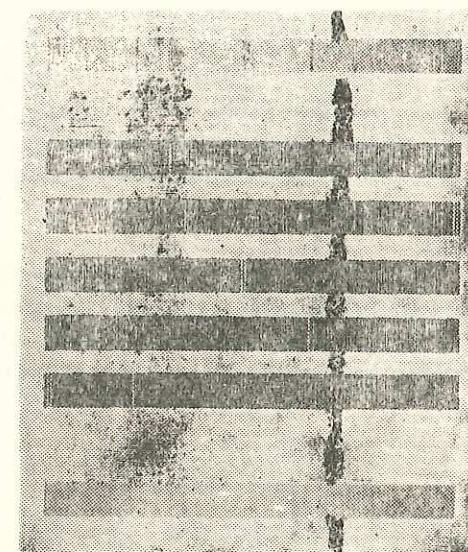


Fig. 64. Formarea de spectre (schemă).

rație cu surse terestre, găsim compoziția chimică a atmosferei solare. Pe această cale a fost descoperit întâi în Soare elementul *helium*, în 1868, care ulterior a fost găsit și pe Pământ.

Spectre similare se obțin și din partea stelelor.

Planetele, Luna și sateliții nu au lumină proprie, ci reflectă lumina Soarelui, care, trecând de două ori prin atmosfera planetei, va fi în parte absorbită de aceasta. În spectrul obișnuit al Soarelui vor apărea linii de absorbție suplimentare, care ne permit să studiem atmosfera planetei.

Din poziția liniilor spectrale deducem compoziția chimică a astrilor. Ajungem astfel la o concluzie importantă: toate corpurile cerești sînt formate din aceleași elemente, cuprinse în sistemul periodic al lui Mendeleev; deci *materia din Univers este unică*.

Determinind poziția liniilor spectrale, se constată că în anumite condiții ele se deplasează. În baza principiului Doppler-Fizeau, dacă astrul se apropie de noi (cu viteza V_r), lungimea de undă λ a liniei spectrale se micșorează, deci se deplasează spre violet; dacă astrul se îndepărtează de noi, liniile spectrale se deplasează spre roșu. Deplasarea $\lambda' - \lambda$ este dată de formula:

$$\lambda' - \lambda = \frac{V}{c} \lambda,$$

unde c este viteza luminii, iar V_r — viteza radială a astrului. Măsurînd în spectru deplasarea $\lambda' - \lambda$, deducem viteza radială V_r . Din observații putem deduce deplasarea astrului pe sfera cerească, deci viteza V_t perpendiculară pe raza de la stea, adică viteza tangențială dacă se cunoaște distanța astrului. Suma geometrică (vectorială) — după regula paralelogramului — a celor două viteze ne dă viteza astrului în spațiu (fig. 65):

$$\vec{V} = \vec{V}_r + \vec{V}_t$$

Tot din deplasarea liniilor spectrale se poate deduce prezența câmpului gravitic, electric și magnetic al astrului.

Temperatura stelelor se poate deduce din repartiția intensității luminii în spectrul continuu (fig. 66). După temperatura stelei, intensitatea

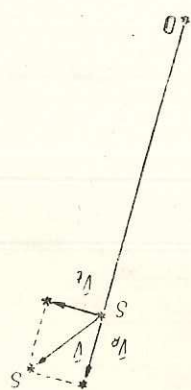


Fig. 65. Viteza unui astru.

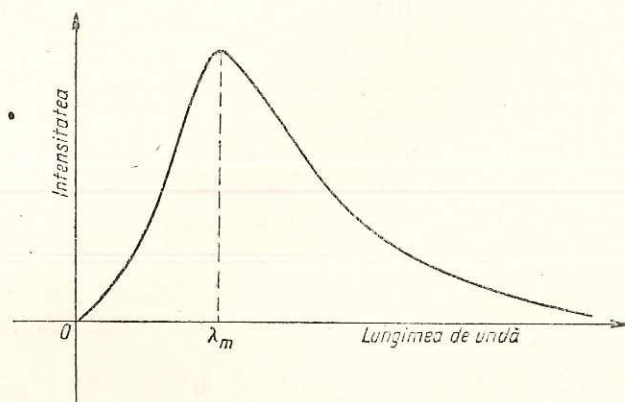


Fig. 66. Curba de repartiție a intensității în spectrul continuu.

maximă se produce în diferite regiuni ale spectrului: la temperaturi mai mici este mai intensă regiunea roșie a spectrului, de unde culoarea roșie a stelei; la temperaturi mai înalte predomină prin intensitate regiunea albastră a spectrului, de unde culoarea albastră a stelei. Notînd cu T temperatura absolută a stelei și cu λ_m lungimea de undă corespunzătoare intensității maxime, din fizică avem relația:

$$T \cdot \lambda_m = \text{const. (legea lui Wien),}$$

care ne permite să deducem temperatura stelei, măsurînd pe λ_m .

Temperaturile astrilor mai apropiați cu dimensiuni unghiulare măsurabile, ca: Soarele, Luna, planetele, se pot determina măsurînd *energia totală* primită de la astrul respectiv, cu ajutorul unor *pile termoelectrice* sau al unor *bolometre*, așezate, în focarul obiectivului telescopului. Pila termoelectrică produce, sub acțiunea energiei concentrate în focar, un curent slab, din intensitatea căruia se poate calcula temperatura din formula: $Q = \sigma T^4$ (legea lui Stefan-Boltzmann), unde Q este energia emisă de unitatea de arie a sursei în unitatea de timp, σ o constantă (constanta Stefan-Boltzmann) și T temperatura efectivă a stelei.

În cazul stelelor foarte îndepărtate, energia concentrată de obiectivul telescopului nu este suficientă pentru a da un spectru. În acest caz, cu ajutorul *fotometrului* se compară radiația integrală a stelei cu aceea a unor stele comparate la rîndul lor cu surse terestre măsurabile. Fotometria furnizează o serie de date asupra stelei, ca: luminozitatea, temperatura, culoarea, dimensiunile ei, evoluția (la unele categorii de stele), desigur mult mai modeste decît spectroscopia, dar în cazul surselor slabe (din cauza distanțelor mari la care se află) este singura cale de informare.

Receptorii utilizați sînt plăcile fotografice sensibilizate și celulele fotoelectrice.

Radioastronomia

A doua fereastră a atmosferei terestre permite observarea astrilor pe calea undelor radio. Pentru captarea acestor unde, emise de către aștri s-au construit mari *radiotelescoape*, constînd dintr-un mare număr de antene dispuse sub forma oglinzilor telescoapelor optice (de unde le vine numele), sub formă de panouri sau sub forma unor antene liniare. Oglinzile radio colectează undele radio pe o mare suprafață și le transmit antene, din focar, de unde trec într-un aparat de recepție cu mare amplificare.

Radioastronomia este cea mai tînără ramură a astronomiei: ea datează abia din 1932, cînd inginerul american Jansky, studiind paraziții atmosferei a detectat cu ajutorul unei antene rotitoare o creștere a zgomotului de fond într-o direcție dată, care revenea după scurgerea unei zile siderale. De aici deduce că sursa de zgomote radio este extraterestră, mai

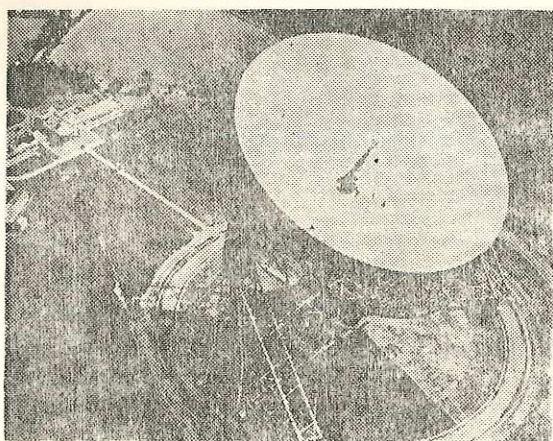


Fig. 67. Radiotelescopul de la Jodrell Bank (Anglia).

elementul cel mai răspândit, emisiunea de unde radio permite studiul materiei interstelare, nebuloaselor și Galaxiei noastre.

Studiindu-se amănunțit cerul cu ajutorul radiotelescoapelor, au fost identificate numeroase radiosurse, numite greșit la început „radiostele”, deoarece dimensiunile lor depășesc mult pe cele ale stelelor. S-a ajuns la concluzia că radiosursele sînt așezate fie pe locurile vechilor explozii stelare (supernove) sau în nebuloase, fie în galaxii foarte active sau sînt obiecte deosebite, numite quasari. În orice caz, ele sînt semnale ale marilor frământări în materia extraterestră. Cu ajutorul radiotelescoapelor s-au putut detecta quasari la distanța de 10 miliarde de anilumină.

Radioundele pot fi utilizate nu numai pentru a obține informații asupra unor mari îngrămădiri de materie, ci și ca agent al omului pentru explorarea aștrilor.

O undă radio emisă înspre un astru se reflectă pe suprafața acestuia și se întoarce, fiind recepționată pe Pămînt. Această metodă de cercetare poartă numele de *radiolocație*. Măsurînd timpul dus-întors al radioundei, se pot determina precis distanțele la aștrii învecinați, ca Luna, Venus, Mercur și Marte. Din modificările suferite de unda reflectată se pot determina și temperaturile corpurilor care le reflectă. Pentru Lună s-a găsit temperatura de -135°C , care corespunde unui strat de pe suprafața Lunii. Energia radiației emise variînd invers proporțional cu pătratul distanței, radiolocația poate fi aplicată numai corpurilor vecine planetei noastre.

În scurta sa existență, radioastronomia a dat rezultate uimitoare, care au completat pe cele cunoscute din cercetări optice. În viitor, pe baza dezvoltării radiotehnicii, radioastronomia va da alte rezultate importante pentru studiul materiei.

Cel mai mare radiotelescop cu oglindă mobilă este cel de la Bonn (Germania), avînd oglindă parabolică cu diametrul de 100 m. Cel mai mare radiotelescop cu oglindă fixă este cel de la Arecibo (Puerto Rico), aflat într-un crater vulcanic și avînd diametrul oglinzii de 305 m.

mult, dincolo de limitele sistemului solar: zgomotele captate nu erau altceva decît radioemisiunile Căii Lactee. Cercetările ulterioare au dovedit că și Soarele are emisiuni radio, stabilindu-se imaginea prin unde radio a Soarelui. În 1944 s-a prezis că atomii de hidrogen neutru emit unde radio pe lungimea de undă de 21 cm, ceea ce s-a verificat în 1951. Această descoperire este de mare importanță, întrucît hidrogenul fiind

Observatoare astronomice

Activități deosebite în domeniul astronomiei se duc în importante observatoare astronomice, de exemplu la observatoarele din Pulkovo și Crimeea (U.R.S.S.), la observatoarele de la Mount Palomar, și de pe Mount Wilson (S.U.A.) etc.

În țara noastră există patru observatoare: la București, Cluj-Napoca, Iași și Timișoara.

Observatorul din București fondat de profesorul N. Coculescu în anul 1908, dispune de aparatura necesară studiilor astronomice. Lucrează la întocmirea de cataloage stelare, la probleme de mecanică cerească. Contribuie la studiul fotosferei și cromosferei solare, la studiul sateliților artificiali ai Pămîntului

(fig. 68). Efectuează studii de astrofizică (structura internă a stelelor, stele variabile și stele duble fotometrice), astronomie galactică și extragalactică.

Observatoarele din Cluj (fondat de prof. Gh. Demetrescu și prof. Gh. Bratu), Iași și Timișoara (fondat de prof. I. Curea) studiază stelele variabile, sateliții artificiali, efectuează unele cercetări solare etc.

În ultimul timp, cu ajutorul rachetelor și al sateliților s-au detectat radiațiile X și γ ale Soarelui și ale unor corpuri cerești. Folosirea aparatelor montate pe sateliți a dat naștere unui nou capitol al astronomiei, *astronomia spațială*.

Cercetarea astronomică mondială este coordonată de Uniunea Astronomică Internațională (U.A.I.), a cărei membră este și țara noastră (din 1928).

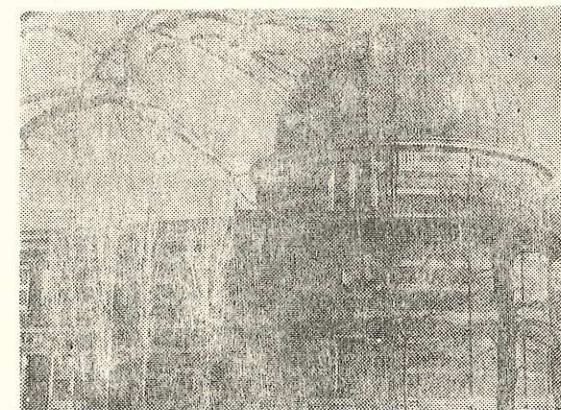


Fig. 68. Observatorul din București (vedere parțială a clădirii principale).

SOARELE

1. Metode de observare

Studiul Soarelui, corpul central al sistemului nostru planctar, are o importanță triplă, și anume:

1) prin energia pe care o radiază, Soarele este sursa de viață pe planeta noastră și unica sursă de energie în sistemul planctar din care facem parte;

2) prin mișcările sale aparente, care duc la fenomene ușor de observat, ca succesiunea zilelor și nopților și succesiunea anotimpurilor, Soarele este folosit la stabilirea unor activități și a unităților de timp;

3) prin marea sa apropiere de noi (față de aceea a stelelor), Soarele poate fi studiat în mod amănunțit și în acest fel pot fi cunoscute, procesele care au loc nu numai în Soare, ci și în stele.

Studiul Soarelui se face prin patru metode:

a) *Observarea discului solar cu ajutorul lunetelor.* Observațiile se fac:

— fie proiectând discul solar pe un ecran perpendicular pe axa optică a lunetei;

— fie direct prin luneta prevăzută cu filtre, prisme și diafragme pentru a micșora cantitatea de lumină care intră în lunetă.

b) *Observarea atmosferei solare în timpul eclipselor totale de Soare.* Discul strălucitor fiind acoperit timp de câteva minute, lumina primită de la atmosfera solară permite o mai bună studiere a atmosferei. Aparatc numite *coronografe* permit studiul — mai puțin perfect — al atmosferei solare și în afara eclipselor.

c) Concentrarea luminii solare pe fanta *spectrografului*, pentru analiza spectrală, care este mijlocul cel mai puternic de cercetare. În acest scop se utilizează instrumente foarte mari și imobile, sub forma *turnurilor solare*, în care un sistem de oglinzi formînd *coelostatul* concentrează razele solare prin turn pe aparatul de cercetare.

d) Se înregistrează emisiunea radio a Soarelui pe diferite frecvențe.

Primele trei metode amintite sînt combinate adesea cu înregistrarea pe placa fotografică.

Observatorul din București participă, în cadrul colaborării internaționale, la cercetarea Soarelui.

2. Distanța, dimensiunile și masa Soarelui

Din capitolele precedente rezultă pentru Soare următoarele date:

— *Paralaxa orizontală ecuatorială a Soarelui:* $\pi_{\odot} = 8'',794$; distanța medie Pămînt-

Soare:

$$D_{\odot} = 149\,600\,000 \text{ km},$$

care, datorită excentricității orbitei, terestre variază cu ± 5 milioane de kilometri. Lumina o străbate în 8^m19^s .

— *Diametrul Soarelui* este de $1\,392\,400 \text{ km} = 109 \times$ diametrul Pămîntului.

— *Volumul Soarelui* este de $1\,300\,000 \times$ volumul Pămîntului, de 600 ori mai mare decît suma volumelor planetelor. În interiorul Soarelui ar încăpea orbita Lunii.

— *Masa Soarelui* este de 333 000 ori mai mare decît a Pămîntului. Ea este egală cu $1,99 \times 10^{33} \text{ g}$, adică de 745 ori suma maselor planetelor, concentrînd 99,86% din masa întregului sistem solar. De aici rolul său primordial în sistemul solar.

— *Densitatea medie a Soarelui* este 0,255 din aceea a Pămîntului, adică 1,41 în raport cu densitatea apei.

— *Accelerația gravitației* pe suprafața Soarelui este de 274 m/s^2 , deci de 28 ori mai mare decît pe suprafața Pămîntului; pe Soare, greutatea medie de 70 kg a unei persoane ar deveni aproape 2 t.

Un corp ar putea părăsi Soarele dacă i s-ar imprima o viteză de 618 km/s, pe cînd el părăsește definitiv Pămîntul la o viteză de numai 11,2 km/s.

3. Observarea suprafeței solare

Privit cu o lunetă mai puternică, discul solar prezintă o serie de particularități.

Discul solar nu este uniform luminat, ci spre margine prezintă o întunecare treptată. Acest lucru se explică prin faptul că radiația vine de la aceeași adîncime: în centru, măsurată pe normală, iar la margine, măsurată pe oblică. Temperatura crescînd odată cu adîncimea, radiațiile de la marginea discului corespund temperaturilor mai mici, deci cu o intensitate redusă față de radiațiile din centru.

— La o lunetă puternică, suprafața Soarelui se descompune în formații mai strălucitoare, numite *granule*, avînd un diametru real, de circa 1 000 km pe un fond întunecat. Ele se da-

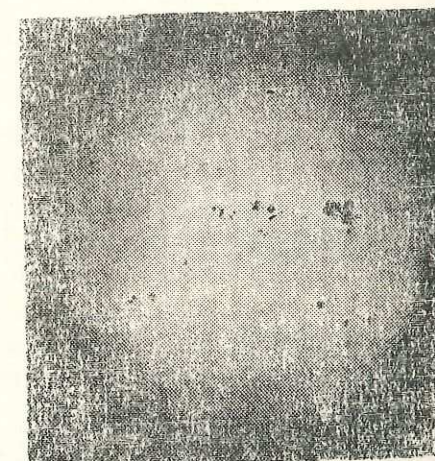


Fig. 69. Fotografia discului solar; apare fotosfera cu întunecarea sa spre margine, grupuri de pete solare înconjurate de facule.

torează unor curenți de convecție care ridică — la suprafață — mase fierbinți și, după răcire (circa 7—8 minute), se lasă în jos și granulele pe care le-au produs dispar, locul lor fiind luat de alte granule.

— *Petele solare* sînt regiuni mai întunecate pe discul solar, deoarece au numai 4 500 K temperatură (în raport cu cele 6 000 K ale discului). Ele apar în regiuni mari, fin dantelate, mai strălucitoare, numite *facule* (fig. 69). Petele nu sînt fixe pe suprafața solară, ci ele se deplasează, de la stînga spre dreapta, dovedind rotația Soarelui în sens direct cu o perioadă de 25 de zile la ecuator, spre poli ajungînd la 35 de zile. Deci Soarele nu se rotește ca un solid, ci diferențial, dovedind astfel compoziția sa gazoasă.

4. Constituția Soarelui. Atmosfera solară

Ca orice stea, Soarele se compune din două părți:

- *atmosfera solară*, alcătuită din straturi care ne trimit radiații;
- *interiorul Soarelui*, format din materia de la care nu primim direct radiații.

Atmosfera solară se compune din următoarele straturi: *fotosfera*, *cromosfera* și *coroana solară*.

Fotosfera este stratul cel mai adînc al atmosferei solare, dar și cel mai subțire, avînd o grosime de cîteva sute de kilometri și temperatura de 6 000 K care crește spre interior. Ea delimitează globul solar, care se prezintă sub forma unei sfere luminoase. Petele solare și faculele amintite sînt formații fotosferice în continuă evoluție. Petele apar într-o erupție neregulată, apoi se rotunjesc, fiind înconjurate de penumbră, cu diametrul între 1 000 și 100 000 km. Adesea, ele formează grupuri, care se transformă într-o pereche de pete, pînă dispar.

Formarea petelor se atribuie unor fenomene legate de cîmpurile magnetice și rotația diferențială a Soarelui. În urma cîmpurilor magnetice, temperatura petelor este mai scăzută decît a fotosferei (cîmpurile magnetice intense opunîndu-se la transportul energiei din interior). Petele dispar după o existență de circa trei săptămîni. Fenomenul cel mai important îl constituie periodicitatea numărului petelor, avînd perioada medie de 11 ani. Petele au un cîmp magnetic puternic.

Faculele sînt mai numeroase în jurul petelor, formînd cu acestea *regiuni active*. Aria ocupată de facule este de 2,5 ori mai mare ca aceea a petelor. Au o viață mai lungă decît petele, dar aceeași perioadă de 11 ani.

Cromosfera înconjură fotosfera și are o grosime mult mai mare, de aproximativ 10 mii de kilometri. Temperatura sa crește spre exterior, de la 4 500 K la 20 000 K. Structura sa este foarte eterogenă: în cromosferă, între petele unor grupuri apar scînteieri luminoase de scurtă durată, numite *erupții cromosferice*, regiuni de nori albi numiți *floculi* (nori de calciu), iar

spre marginea discului solar apar niște limbi de flăcări ce ies din cromosferă, numite *protuberanțe* (fig. 70). Ele sînt *liniștite*, deși persistă într-o formă puțin schimbată timp de săptămîni, și *eruptive*, dacă se ridică în cîteva ore, evoluează și dispar. Ele au o periodicitate de 11 ani, care se acordă bine cu aceea a petelor solare. Observate pe disc cu ajutorul unui filtru monocromatic sau al unui spectroheliograf, ele apar ca linii întunecate, numite „filamente”. În cromosferă se formează undele solare radio, cu lungime de undă scurtă (de ordinul centimetrilor).

Coroana solară (fig. 71 a, b) se întinde în jurul cromosferei cu o grosime de sute de mii de kilometri sau mai mult. Structura sa este foarte complicată și atinge temperatura paradoxală de ordinul unui milion de grade (dedusă din mișcarea particulelor acestui mediu foarte rarefiat). Ea produce radiundele solare cu lungimi de undă metrice. Bogată și aproape uniform răspîndită în jurul discului solar în timpul maximumului de pete, coroana solară se reduce în timpul minimumului de pete la alungiri în regiunea ecuatorului, la poli rămînînd doar fire scurte (denumite iarbă polară).

Centrele active formate probabil la mari adîncimi agită toată atmosfera solară; ele dau petele solare, protuberanțele și forma coroanei, care se reproduc toate în perfectă concordanță cu aceeași perioadă de 11 ani. Totalitatea acestor fenomene variabile constituie *activitatea solară*. Ea are o mare importanță teoretică (pentru înțelegerea proceselor din Soare) și practică (influența asupra unor fenomene terestre).

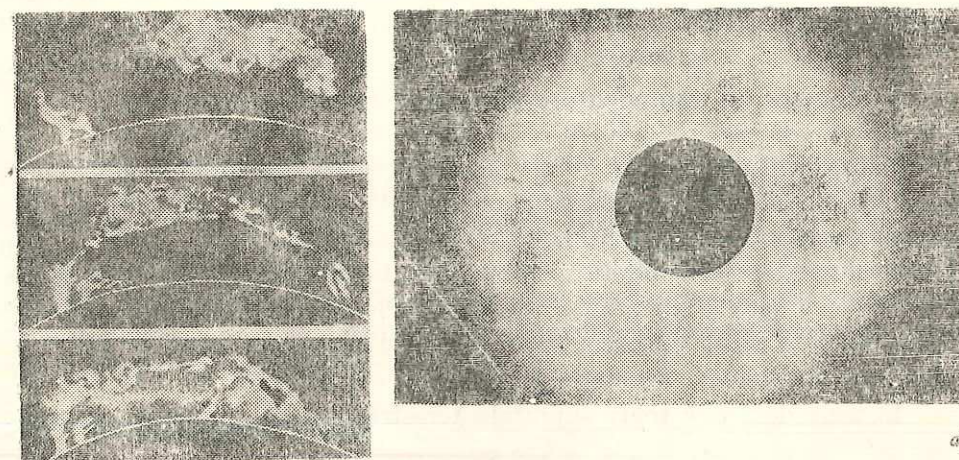


Fig. 70. Evoluția unei protuberanțe eruptive (de jos în sus).

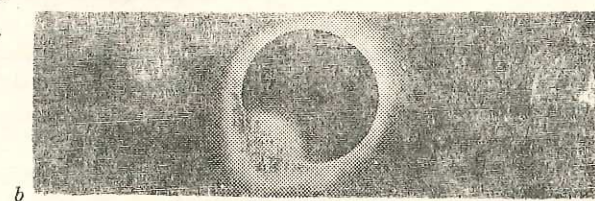


Fig. 71. a, b. Coroana solară la maximum (sus) și minimum (jos) de activitate solară.

Analiza spectrală aplicată razelor solare ne prezintă spectrul solar. Un spectru continuu are circa 22 000 de linii de absorbție, rezultat din acțiunea tuturor straturilor prin care au trecut razele. Fotosfera dă un spectru continuu, peste care se suprapun liniile spectrale date de cromosferă. Coroana solară emite un spectru continuu, un spectru de linii luminoase proprii și un spectru de absorbție produs prin difuzia luminii pe pulberi. Atmosfera terestră adaugă încă vreo 6 000 de linii de absorbție, numite *linii telurice*, care se disting de restul liniilor prin lărgimea lor variabilă în cursul unei zile, după cum razele solare parcurg un drum mai lung (la orizont) sau mai scurt (la meridian) în atmosfera terestră.

La eclipsele totale de Soare, timp de 1–2 secunde, cît discul lunar ascunde fotosfera, primim lumină numai de la straturile exterioare ale atmosferei. Spectrul de absorbție se inversează în spectru de linii, numit din cauza scurtei sale durate *spectru fulger*.

Din analiza spectrală rezultă compoziția chimică a atmosferei solare: aceleași elemente ca și pe Pămînt, și anume: hidrogenul în proporție de 79%, heliu 20%, iar restul elementelor reprezintă mai puțin de 1% din atmosferă, mai abundente fiind oxigenul, magneziul, azotul, carbonul etc. În anul 1868 a fost identificată o linie galbenă în spectrul solar, necunoscută în spectrele terestre și atribuită unui nou element, *helium*. După 30 de ani, elementul heliu a fost descoperit și pe Pămînt.

Rezultă încă o dată unitatea materială a corpurilor cerești cu Pămîntul; aceleași elemente chimice compun materia, doar abundența lor variază.

5. Energia și temperatura Soarelui

Măsurînd energia pe care o primim de la Soare, putem determina energia pe care el o emite. Atmosfera terestră absorbe o parte din aceasta. Calculele energetice se pot face neținînd seama de ea.

Se numește *constantă solară* cantitatea de energie primită de la Soare în timp de 1 minut, pe o suprafață de 1 cm², așezată perpendicular pe direcția Soarelui și aflată la limita superioară a atmosferei terestre. Din măsurări rezultă pentru constanta solară valoarea de 2 cal în 1 min/1 cm².

În timp de 1 min toată suprafața terestră de rază r primește energia:

$$e = 2\pi r^2 = 2,55 \times 10^{18} \text{ cal/min.}$$

Putem calcula energia primită într-un minut pe o sferă cu raza de o unitate astronomică R (distanța Pămînt-Soare) în jurul Soarelui; ea reprezintă energia totală radiată de Soare timp de 1 min:

$$E = 2 \times 4\pi R^2 \text{ cal/min.}$$

Raportul dintre energia E emisă de Soare și e recepționată de Pămînt este:

$$\frac{E}{e} = \frac{2 \times 4\pi R^2}{2 \times \pi r^2} = 4 \left(\frac{R}{r} \right)^2 = 2\,200\,000\,000,$$

adică Pămîntul primește numai a 2,2 miliarde parte din energia radiată de Soare. De aici, energia totală radiată pe secundă:

$$E = 5,17 \times 10^{23} \text{ CP} = 3,9 \times 10^{33} \text{ erg/s} = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

suficientă pentru a topi timp de 1 min un strat de gheață de 14 m grosime care ar înconjuera Soarele. Această formidabilă energie este emisă de Soare în mod continuu de circa 3 miliarde de ani. Cele mai vechi roci ale scoarței terestre, avînd o vîrstă de 2,6 miliarde ani, au fost găsite ca conținînd alge fosile, fapt care dovedește că încă de atunci clima terestră era analogă celei actuale. Deci, de atunci și pînă azi, energia emisă de Soare a variat foarte puțin.

Cunoscînd energia radiată de Soare, se poate calcula temperatura sufaței solare (a fotosferei) și se află o valoare de 6 000 K. Calculul se face cu ajutorul legii Stefan-Boltzmann (v. p. 67). Se obține $E = 4\pi R_0^2 \cdot \sigma T^4$, unde R_0 este raza Soarelui, iar $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

6. Interiorul Soarelui, originea energiei solare

Interiorul Soarelui (ca și al unei stele) se manifestă prin condițiile pe care le creează în atmosferă. În cazul Soarelui s-au stabilit următoarele rezultate:

Masa în interior este puternic concentrată spre centru, așîndu-se la o presiune de sute de miliarde de atmosfere și la o temperatură de 14 milioane grade, densitatea ajungînd la 150 g/cm³. Din această cauză este perfect ionizată, fiind în stare de plasmă și comportîndu-se ca un gaz perfect. Compoziția ei chimică este dominată de hidrogen (79%) și heliu (20%) iar restul elementelor de 1% apar doar ca impurități.

Care este originea formidabilei energii solare?

Au fost emise multe ipoteze ca: a arderi, a contracțiunii, a căderii de materie meteorică, a radioactivității și altele, dar nici una n-î putea justifica energia cheltuită de Soare în lungă sa existență. Ipoteza care explică debitul energiei solare este aceea a reacțiilor termonucleare: pe baza înaltei presiuni și temperaturi din interior, elementul cel mai abundent, hidrogenul, se transformă în heliu, 4 nuclee de hidrogen se grupează pentru a forma 1 nucleu de heliu, a cărui masă este ceva mai mică decît a 4 nuclee de hidrogen. La fiecare grupare rămîne masa Δm , numită defect de masă. Greutatea atomică a hidrogenului fiind 1,00813, iar a heliului 4,00386, rezultă $m = 4 \times 1,00813 - 4,00386 = 0,02866$. La transformarea celor patru protoni într-un nucleu de heliu se eliberează energia:

$$E = c^2 \cdot \Delta m,$$

unde c este viteza luminii. În fiecare secundă, 564 milioane de tone de hidrogen sînt grupate în 560 milioane de tone de heliu, iar 4 milioane de tone de hidrogen, rămase ca defect de masă, eliberează energia corespunzătoare lor. Această energie alimentează întregul sistem solar. Cît va dura acest proces? Pînă la epuizarea rezervelor de hidrogen ale Soarelui. În prezent, avînd 79% hidrogen din masa totală, deși ritmul grupării hidrogenului în heliu se accelerează cu timpul, încă miliarde de ani eliberarea de energie solară pe această cale este asigurată. Iar după epuizarea hidrogenului este posibilă amorsarea unui alt ciclu de transformări. Pe măsura consumării întregii sale energii, după multe miliarde de ani, Soarele întîi își va mări strălucirea și raza, fapt care va pune capăt existenței sistemului planetar. Apoi Soarele va evolua repede spre o stea pitică albă, stingîndu-se treptat.

Alături de radiația solară, din care primim partea corespunzătoare ferestrelor vizuale și radio ale atmosferei terestre, Soarele emite corpuscule cu mari viteze, care, deși au mare energie, sînt oprite atît de atmosfera solară, cît și de cea terestră. Ele produc:

— în Soare: vîntul solar și nori corpusculari de diferite energii (pînă la raze cosmice primare de $\approx 10^9$ eV);

— pe Pămînt: aurorele polare, fenomenele geomagnetice (furtuni magnetice), centurile de radiații intense din jurul Pămîntului desoperite cu ajutorul sateliților artificiali. O importantă parte a cercetărilor întreprinse în Anul Geofizic Internațional a constituit-o studiul Soarelui și al fenomenelor geofizice. Între 1 ianuarie 1964 și 31 decembrie 1965 s-au desfășurat lucrările Anului Internațional al Soarelui Calm (A.I.S.C.), în care s-au studiat fenomenele solare în timpul unui minim al activității solare. Sectorul solar al Observatorului din București a participat la lucrările A.I.S.C.

Imensa energie solară, care ne inundă în mod continuu, i-a dat omului ideea utilizării ei. În prezent sînt în curs cercetări pentru captarea și utilizarea energiei solare în economia națională. Instalațiile heliotehnice realizate în cîteva întreprinderi, ca și bateriile solare utilizate la sateliții artificiali, indică eforturile umane în direcția deplinei utilizări a energiei Soarelui.

Exerciții

1. Care ar fi pe Soare masa unui om care pe Pămînt cîntărește 65 kg?

2. Știind că o pată solară are diametrul aparent $0'',7$, care este diametrul ei liniar?

CAPITOLUL IX

SISTEMUL SOLAR

Sistemul solar se compune din:

- un corp central — Soarele;
- 9 planete mari;
- 44 de sateliți naturali ai planetelor (plus un număr de sateliți artificiali);
- vreo 2000 de planete mici (cunoscute);
- peste 2000 de comete (cunoscute);
- materie metcronică.

1. Planetele mari

Planetele sînt corpuri reci care reflectă lumina Soarelui și astfel devin vizibile. În ordinea distanțelor lor la Soare sînt: Mercur, Venus, Pămîntul, Marte, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun și Pluton.

Pe baza măsurărilor de paralaxe putem determina distanțele lor la Soare.

O valoare aproximativă, în unități astronomice, a distanțelor planetelor, ne este dată de șirul lui *Titius-Bode*, în modul următor: să considerăm o progresie geometrică cu primul termen 3 și rația 2, punînd înainte și termenul 0. Dacă adunăm 4 la fiecare termen și îl împărțim cu 10, obținem un șir de numere care ne dă distanțele aproximative în unități astronomice:

Distanțe	0	3	6	12	24	48	96	192		384
calculate	0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6		38,8
observate	0,4	0,7	1,0	1,5		5,2	9,6	19,2	30,1	39,5
Planeta	M	V	P	M	Pl. mici	J	S	U	N	Pl.
Nr. de ordine	0	1	2	3	4	5	6	7	8	

Deci putem exprima distanțele prin formula:

$$d_n = \alpha + \beta \cdot 2^{n-1}$$

unde n este numărul de ordine al planetei (pentru $n \geq 1$), iar $\alpha = 0,4$ și $\beta = 0,3$. Există două excepții în acest șir: la 2,8 unități astronomice nu corespunde nici o planetă mare, dar este valoarea medie a distanțelor micilor planete. Planetei Neptun nu-i corespunde un termen în

șirul de mai sus, deoarece termenului următor planetei Uranus îi corespunde planeta Pluton. Din acest motiv, șirul lui Titius-Bode nu are valoarea unei legi, dar are meritul de a fi semnalat golul existent între Marte și Jupiter.

Faptul că există unele regularități în distribuția planetelor și în caracterele fizice este un argument în favoarea originii comune a planetelor și a sistemului solar.

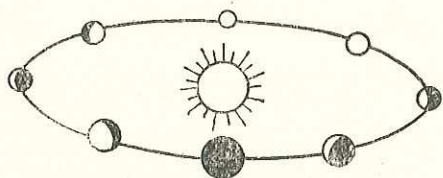


Fig. 72. Mercur și Venus în faze.

Analog Lunii, toate planetele prezintă faze, mai evidente la Mercur și Venus (fig. 72).

Masele planetelor cu sateliți se determină prin legea a III-a a lui Kepler (conform cap. VI). Masele planetelor fără sateliți (Mercur, Venus și Pluton) se determină cu ajutorul perturbațiilor. Din masa M și volumul V deducem densitatea medie a planetei:

$$\rho = \frac{M}{V}.$$

Accelerația gravitației planetei de masă m și rază r este:

$$g = f \frac{m}{r^2},$$

iar accelerația gravitației pe Pământ este $g_0 = f \frac{m_0}{r_0^2}$.

Luând $m_0 = 1$; $r_0 = 1$, avem:

$$g = g_0 \frac{m}{r^2}.$$

Neavând lumină proprie, studiul planetelor se face — mai dificil — prin:

- măsurarea albedoului, care este raportul dintre fluxul luminos reflectat și fluxul luminos incident;
- măsurarea polarizării luminii reflectate;
- spectrografie, studiind benzile de absorbție produse de planetă în spectrul Soarelui;
- fotografii și observații vizuale ale planetelor;
- studiul radiației radio a planetelor.

Cu ajutorul radiolocației asupra planetelor mai apropiate se obțin o serie de date asupra temperaturii și naturii suprafețelor planetelor respective.

Problema atmosferei planetelor și sateliților lor

Unele planete au atmosferă, altele nu.

Existența ei, precum și compoziția ei chimică depind de viteza de evadare din câmpul gravitațional al planetei, ca și de viteza medie a moleculelor și atomilor din atmosferă.

Viteza de evadare V_e este:

$$V_e = R \sqrt{\frac{2g}{R+h}},$$

unde:

R este raza planetei;

h — distanța particulei la suprafața planetei și

g — accelerația gravitației.

Viteza medie a unei particule este:

$$V_m = \sqrt{\frac{3kT}{m_p}} = \sqrt{3 \times 1,38 \times 10^{-16}} \sqrt{\frac{T}{m_p}},$$

unde:

k — este constanta lui Boltzmann;

m — masa moleculară și

T — temperatura gazului.

Dacă $V_m \geq V_e$, molecula respectivă evadează din atmosfera planetei.

O planetă își păstrează atmosfera timp de un miliard de ani dacă:

$$V_m < 0,2 V_e.$$

a) *Planetele terestre* se numesc astfel deoarece au proprietăți analoge cu cele ale Pământului. Aceste proprietăți comune sînt:

- dimensiuni și mase mici (fracțiuni din dimensiunile terestre);
- densități mari (media lor este 4,5);
- rotații lente în jurul axelor lor (cu perioada de o zi sau mai multe zile);
- turtiri mici (de ordinul sutimilor) sau nule;
- suprafață solidă;
- atmosfere nu prea întinse.

Din această categorie fac parte Mercur, Venus, Pământul și Marte (fig. 73). Pe lângă datele cuprinse în tabloul „Date asupra sistemului solar” (pag. 81), expunem câteva particularități, după cum urmează:

Mercur este o planetă prea aproape de Soare pentru a fi observată ușor. Perioada de rotație este $2/3$ din cea de revoluție, deci 58,65 de zile, cum rezultă din cercetările cu ajutorul radarului. Pe fața însorită, temperatura ajunge pînă la 400°C , iar pe fața umbrită coboară la -200°C . Atmosfera este extrem de rarefiată, deoarece vitezele termice ale moleculelor sînt aproape de viteza de evadare. Suprafața este acoperită cu cenușă vulcanică. Viața pe această planetă este imposibilă. Orbita sa avînd o mare excentricitate, diametrul său aparent variază de la unitate la triplul valorii sale.

Venus sau popular *Luccafărul* este după dimensiuni și masă planeta-soră a Pământului, dar primește de două ori mai multă lumină și

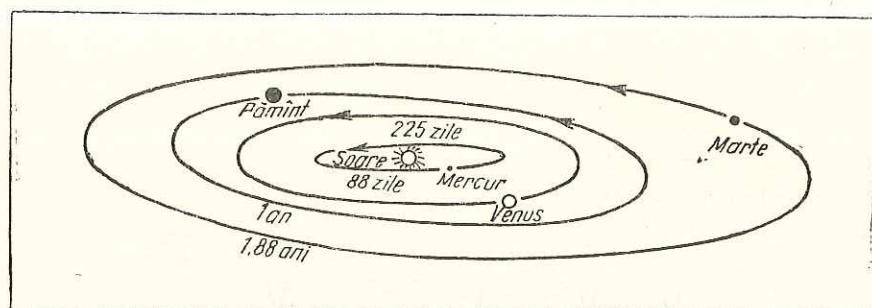


Fig. 73. Schema orbitelor planetelor terestre.

căldură de la Soare. Prezintă faze (ca și Luna), strălucirea sa variază mult. Este astrul cel mai strălucitor al cerului (exceptând Soarele și Luna) și se poate vedea în plină zi. Strălucirea sa mare se datorește și valorii mari a albedoului său. Are o atmosferă densă, care nu permite observări de detaliu pe suprafața planetei. De aici rezultă dificultăți mari pentru stabilirea duratei rotației planetei. Din măsurări de radiolocație rezultă o rotație retrogradă cu perioada de 243,5 zile pentru suprafața solidă a planetei. Venus trece cam de două ori într-un secol prin fața discului solar; aceste treceri sînt utile pentru determinarea paralaxei Soarelui. Trecerile proxime vor avea loc în anii 2004 și 2012. Studiul atmosferei planetei dovedește existența bioxidului de carbon, iar recent a fost pusă în evidență existența vaporilor de apă.

În 1962 racheta americană Mariner II de la o distanță de 35 000 km de planetă a detectat o temperatură de $+400^{\circ}\text{C}$. La 18 oct. 1967, stația automată sovietică Venus 4 s-a deus pe solul planetei unde a înregistrat o temperatură de $+280^{\circ}\text{C}$ și o presiune de 15 atmosfere. Cu o zi mai târziu racheta americană Mariner V la o distanță de 4 500 km a înregistrat o presiune de 7–8 ori cea terestră.

Din toate aceste determinări rezultă: marea abundență a bioxidului de carbon (87%) în atmosfera planetei, existența unui extrem de slab cîmp magnetic și inexistența unui cîmp de radiații intense a planetei.

Pământul (fig. 74) face și el parte din rîndul planetelor. Privit dintr-o planetă inferioară (Mercur sau Venus), Pământul ar apare ca cel mai strălucitor astru (după Soare) de pe cer. Dintr-o planetă superioară, Pământul ar fi văzut cînd seara, cînd dimineața, cu o strălucire variabilă după faze, ca și planeta Venus pentru noi pămîntenii.

Date asupra sistemului solar

	Soarele	Mercur	Venus	Pământul	Marte	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluton
Perioada revoluției siderale în ani	—	0,241	0,615	1,000	1,881	11,862	29,457	84,013	164,783	248,421
Perioada revoluției sinodice în ani	—	0,317	1,594	—	2,132	1,092	1,036	1,012	1,006	1,004
Distanța medie față de Soare în unități astronomice	—	0,387	0,723	1,000	1,524	5,203	9,539	19,191	30,071	39,517
Inclinația orbitei pe planul eclipticii	—	7°00'	3°24'	0	1°51'	1°18'	2°29'	0°46'	1°47'	17°19'
Excentricitatea orbitei	—	0,206	0,0067	0,017	0,093	0,048	0,056	0,047	0,009	0,247
Perioada rotației în jurul axei	25 zile	58,65	243,5	23 ^h 56 ^m 4 ^s	24 ^h 37 ^m 23 ^s	9 ^h 50 ^m	10 ^h 14 ^m	10 ^h 42 ^m	15 ^h 48 ^m	6 ^h 9 ^m 16 ^s
Turturea	—	0	0	1/298,3	1/192	1/12,3	1/9,74	1/18	1/45	?
Diametrul ecuatorial în km	109,1	0,38	0,96	1,00	0,53	10,94	9,06	3,78	3,59	~0,5
Masa (măsurată în unități de masă Pământului)	333000	0,054	0,814	1,000	0,107	317,38	95,03	14,57	17,25	0,9
Densitatea în g/cm ³	1,41	5,60	5,91	5,52	3,95	1,34	0,71	1,48	2,06	5,5?
Accelerația gravitației g Pământ = 1	28,0	0,38	0,89	1,00	0,38	2,65	0,16	1,02	1,34	0,8
Viteza de evadare în km/s	—	4,3	10,4	11,2	5,1	60,9	36,6	22,2	24,8	—
Albedo	—	0,05	0,59	0,39	0,15	0,44	0,42	0,45	0,49	—
Temperatura în grade absolute	5800	445	327	277	222	233	90	63	51	—
Numărul sateliților cunoscuți	—	—	—	1	2	16	17	14	8	1

Accelerația gravitației pe suprafața Pământului la ecuator = 978 cm/s^2

Unitatea astronomică = 149 600 000 km
Diametrul Pământului = 12 742 km
Masa Pământului = $5,976 \cdot 10^{27} \text{ g}$

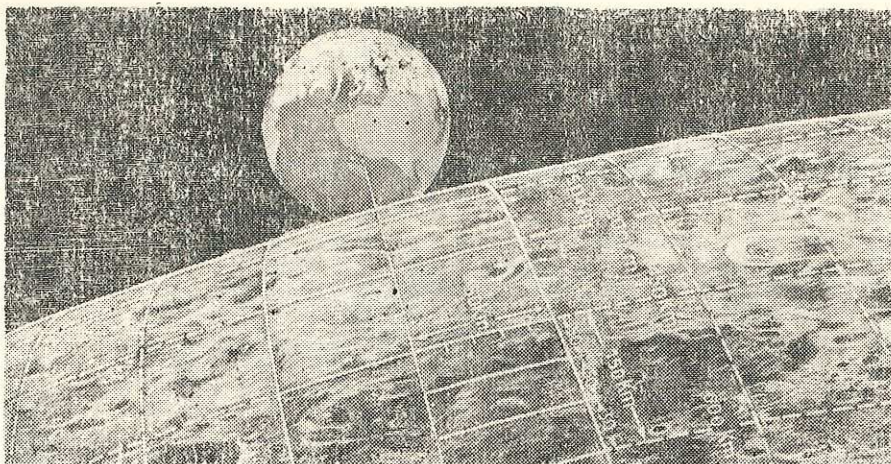


Fig. 74. Pământul și Luna fotografiate de satelitul lunar Orbiter I.

Marte este planeta cea mai mult cercetată, datorită atmosferei sale rarefiate, care permite să se vadă detalii pe suprafața sa. Excentricitatea pronunțată a orbitei sale face ca, odată cu variația distanței la Soare, să varieze și căldura primită de la acesta între 36 și 52% din aceea primită de Pământ. La intervale de 15—17 ani, planeta se găsește la distanță minimă de Pământ: în 1956 a fost la 57 milioane de kilometri, în 1971 la 56 mil. km, iar în 1988 la 59 mil. km. Ziua marțiană depășește cu 37 de minute pe cea terestră. Datorită înclinării axei sale (aproape

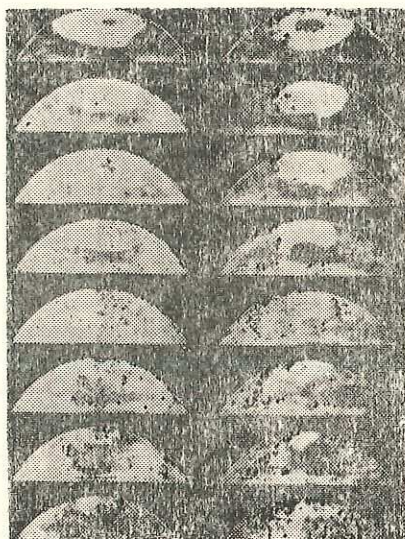


Fig. 75, a. Fotografii ale planetei Marte cu calotele de gheață. Calota de gheață scade din iarnă pînă în vara marțiană.

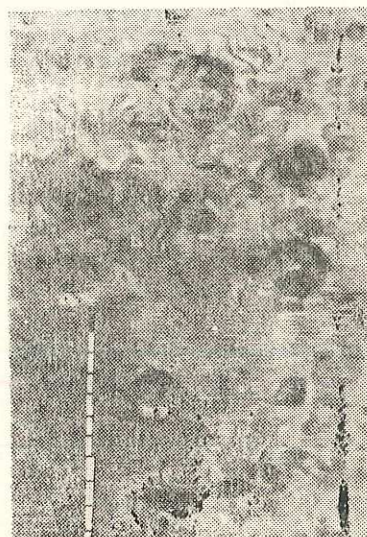


Fig. 75, b. Suprafața planetei Marte fotografiată de racheta Mariner IV

aceeași ca și a Pământului), succesiunea anotimpurilor este aceeași, dar cu o durată aproape dublă, deoarece anul marțian are 678 de zile. Pe suprafața planetei se pot observa diferite formații:

— calotele polare sînt calote de gheață care-și schimbă dimensiunile periodic cu anotimpurile (fig. 75, a);

— mari pete roșcate acoperă marea parte a discului planetei și-i dau culoarea roșie. Albedoul lor indică deșerturi, de pe care vînturile ridică nori subțiri de praf existenți în atmosfera planetei;

— pete numite „mări”, a căror culoare variază cu anotimpul de la verde-albastru la cafeniu-alb.

Fenomenul de crepuscul și norii observați dovedesc existența unei atmosfere marțiene bogate în bioxid de carbon. Cu ajutorul stațiilor interplanetare *Mariner* (americane) și *Marte* (sovietice) s-a obținut pentru presiunea atmosferică valori de 6—10 milibari, deci aceasta nu depășește o sutime din presiunea atmosferei terestre. Temperatura planetei este în medie cu 25°C mai scăzută decît cea terestră.

Variația de culoare a mărilor marțiene cu anotimpurile a sugerat posibilitatea existenței unei vegetații pe Marte (care explică variația de culoare). Astronomul italian Schiaparelli, apoi americanul Lowell au descoperit pe Marte o rețea complexă de „canale”, care păreau că unesc între ele mările, pe care le-au presupus ca fiind construite de ființe inteligente în lupta lor împotriva secetei crescînde. Astăzi însă, pe baza rezultatelor obținute cu stațiile interplanetare automate, s-a ajuns la concluzia că ele sînt doar niște falii.

Astronomul G.A. Tihov de la Alma-Ata a inițiat o nouă ramură a astronomiei: astrobotanica, pentru studiul vieții pe diferite planete. Dar în lumina reflectată de mările marțiene nu s-a putut pune în evidență absorbția clorofiliană, cel mai concludent test pentru dovedirea existenței vieții. Tihov însă a demonstrat că, în condițiile de climă aspră, absorbția clorofiliană nu se manifestă, iar colaboratorii săi au mai adus o serie de argumente în favoarea ideii că pe Marte ar putea exista viață. S-a pus în evidență existența apei în atmosfera planetei.

Dovezile în favoarea vieții pe Marte pledează pentru existența vieții eventual sub forme inferioare, ca alge și licheni. Deci o microfloră și poate o microfaună corespunzătoare.

În prezent nu avem dovezi asupra existenței în trecut pe Marte a unei vieți dezvoltate. Problema vieții marțiene va putea fi elucidată definitiv cu aparate speciale de analize biologice ce pot fi depuse pe solul lui Marte. Astfel în 1976 două stații americane de tip *Viking* au coborît pe solul marțian pentru a decela eventualele forme de viață. Datele obținute nu dovedesc riguros existența vieții, dar nici nu o exclud sigur.

În iulie 1965, racheta „Mariner IV” a transmis primele 19 fotografii ale planetei Marte de la o înălțime de 11 000 km numai de la suprafața acesteia. Din studiul acestora rezultă o presiune atmosferică mai mică decît cea dedusă anterior, lipsa cîmpului magnetic (deci razele cosmice bombardează direct suprafața planetei). Rarefiata atmosferă marțiană se pune în evidență și în figura 75, b, care nu prezintă presupusele „canale”, ci o suprafață cu circuri, analogă cu cea lunară. Oare trecutul și prezentul planetei să fie analoge cu cele ale pustiului nostru satelit Luna?

b) *Planetele gigante*. Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun se numesc gigante din cauza dimensiunilor lor mari în raport cu planetele terestre (fig. 76, a). Ele au următoarele proprietăți comune:

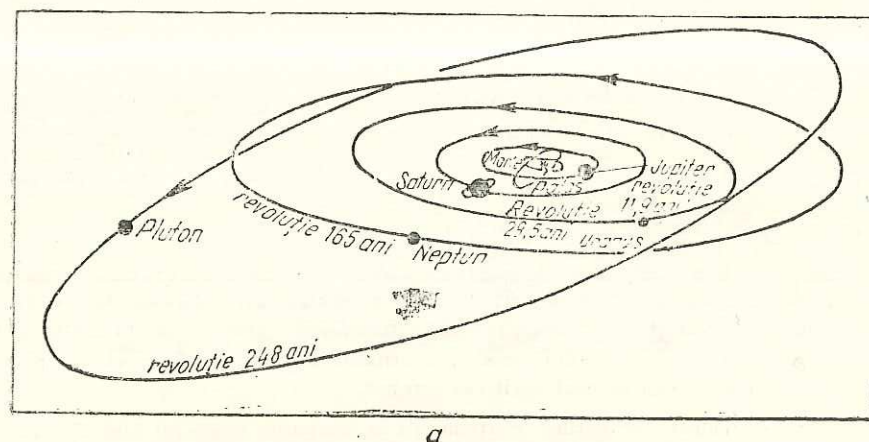


Fig. 76, a. Schema orbitelor planetelor gigante.

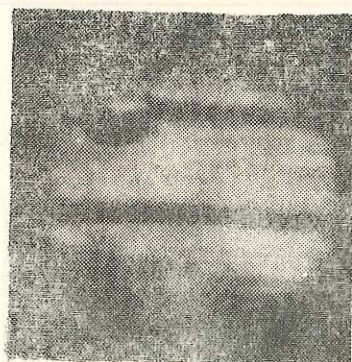


Fig. 76, b. Fotografia planetei Jupiter.

- dimensiuni și mase mari față de Pământ;
- densități mici (media lor fiind 1,21 față de densitatea apei);
- rotații axiale rapide de ordinul orelor, în ciuda dimensiunilor mari;
- turtiri relativ mari, rezultând din rotațiile rapide;
- absența detaliilor stabile pe suprafață din cauza atmosferelor lor întinse;
- benzi paralele cu ecuatorul;
- număr mare de sateliți.

Condițiile existente în planetele gigante fac imposibilă viața pe suprafața lor.

Date asupra lor sînt cuprinse în tabloul cu „Date asupra sistemului solar” (pag. 81).

Jupiter este cea mai mare planetă, avînd volumul de 1 300 de ori volumul Pămîntului (fig. 76, b). Spectrul indică existența metanului și a amoniacului.

Majoritatea detaliilor observate pe suprafața sa sînt formații atmosferice a căror existență este de cel mult de cîteva luni. Anumite detalii — ca marea pată roșie — sînt vizibile de peste un secol, deși au avut loc variații de culoare, de formă și de poziție. Pata roșie este formată din combinații sodiu-amoniac. Uneori au loc „furtuni” în atmosfera lui Jupiter detectate prin undele radio pe care le emite și care prezintă puternice anomalii. Temperatura superficială a planetei, de -140°C , depășește cu 25°C pe cea corespunzătoare radiației

solare. Rezultă că planeta Jupiter posedă resurse de energie internă. Rotația axială a planetei se execută în $9^{\text{h}}50^{\text{m}}$ la ecuator, încetîndu-se ușor spre poli. Axa de rotație fiind perpendiculară pe planul orbitei, nu există anotimpuri pe suprafața sa.

În 1979 a fost descoperit, cu ajutorul sondei spațiale *Voyager 1*, un inel al planetei, format din particule solide, situat la o distanță de aproximativ 135 000 km și avînd lățimea de aproximativ 9 000 km.

Saturn se distinge prin densitatea sa mică: 0,7 față de aceea a apei. Compoziția sa este aceeași ca și a lui Jupiter. Rotația sa axială este efectuată cu viteze diferite pe zone în $10^{\text{h}}14^{\text{m}}$ pînă la $10^{\text{h}}38^{\text{m}}$. Axa sa este înclinată pe planul orbitei, de unde rezultă succesiunea anotimpurilor. O particularitate o formează *inelele*, care se întind pînă la o distanță de 2,3 raze saturniene și au o grosime de cel mult de 300 m. Considerăm azi că inelele sînt formate din fragmente solide de toate dimensiunile (de la praf fin la blocuri mari), compuse parțial din gheață. Aceste fragmente se mișcă în jurul planetei după legile lui Kepler. Circulînd cu viteze mari, dau impresia unui inel continuu. Sondele spațiale au pus în evidență o multitudine de inele, care formează un sistem foarte complex. Masa inelelor reprezintă abia $1/27\,000$ din aceea a planetei (fig. 77).

Uranus (fig. 78) este o planetă puțin cunoscută. Are aspectul unui disc verzui. Axa sa de rotație se află aproape în planul orbitei, deci planeta în mișcarea sa de rotație se rostogolește. Rotația sa în sens retrograd

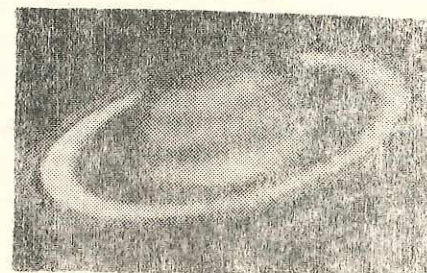


Fig. 77. Planeta Saturn.

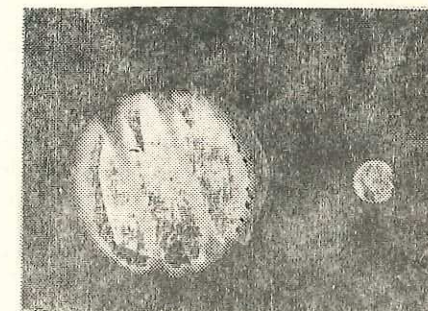


Fig. 78. Planeta Uranus (în dreapta la aceeași scară Pămîntul).

constituie un caz unic în rîndul planetelor mari. Temperatura sa este de -180°C ; amoniacul în atmosfera sa este aproape înghețat.

În 1977 a fost descoperit pe cale optică, un sistem de 9 inele în jurul planetei, razele inelelor fiind cuprinse între 42 000 km și 52 000 km. În 1986 sonda *Voyager 2* a trecut în vecinătatea planetei, punînd în evidență 9 sateliți noi.

Neptun (fig. 79) se prezintă ca un disc verzui, pe care nu putem zări nici un detaliu, dar s-a putut stabili că rotația sa se execută în 16^{h} . Temperatura este de -210°C .

În 1984 s-a descoperit un inel în jurul planetei, situat la aproximativ 765 000 km de centrul ei.

Pluton (fig. 80) este o planetă puțin studiată. Prin dimensiunile sale, cunoscute doar aproximativ, pare să se apropie mai mult de planetele terestre decât de cele gigante. Suprafața sa reflectă puternic lumina, fiind probabil de gheață, deoarece la distanța sa de aproape 40 de unități

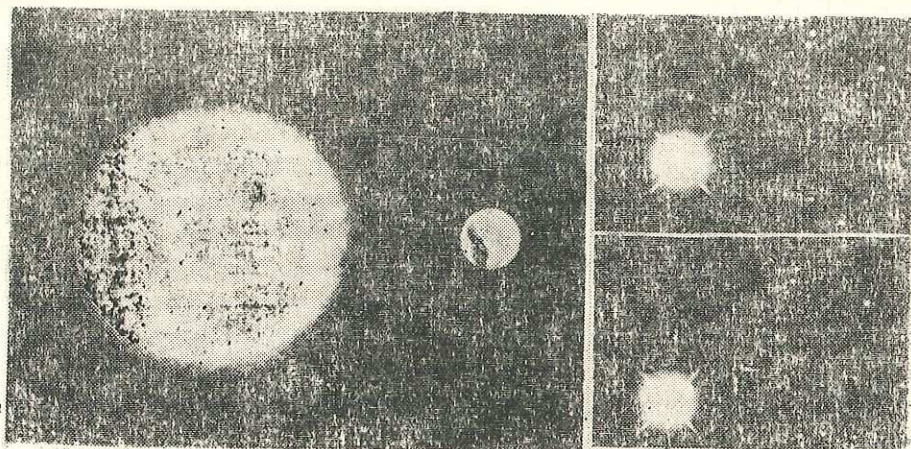


Fig. 79. Planeta Neptun.

Fig. 80. Descoperirea planetei Pluton, prin deplasarea de la o fotografie la alta (Planeta se află la intersecția săgeților).

astronomice Soarele apare ca o stea oarecare, care nu încălzește, de unde temperatura sa de circa -250°C .

Cum se vede din figura 76, a, Pluton se poate găsi și în interiorul orbitei planetei Neptun, prezentând unicul caz când orbitele a două planete mari s-ar putea intersecta, în urma perturbațiilor, o dată la 1 milion de ani. Deci n-ar fi exclusă o ciocnire între cele două planete, dar probabilitatea este extrem de mică.

Este probabil ca șirul planetelor să nu se încheie aici, ci să ajungem la descoperirea unor planete transplutoniene.

2. Sateliții planetelor

În jurul majorității planetelor gravitează sateliții lor. În sistemul solar se cunosc până în prezent 44 de sateliți naturali și un număr din ce în ce mai mare de sateliți artificiali.

Sateliții naturali. Sateliții planetelor au avut un rol important în determinarea maselor planetare, conform legii a treia generalizate a lui Kepler.

Planetele Mercur și Venus nu au nici un satelit, de aceea masele lor au putut fi determinate fie prin perturbația produsă de ele asupra unei comete sau planete mici care a trecut prin apropiere, fie prin perturbațiile produse de ele în mișcările altor planete.

Luna (fig. 81) este unicul satelit natural al Pământului. Se află la distanța medie de 60,3 de raze terestre de Pământ, adică la 384 400 km. Diametrul reprezintă 0,27 din diametrul Pământului, adică 3 476 km. Volumul Lunii este 1/49 din volumul Pământului, aria 1/14 din a Pământului, iar masa 1/81,5 din aceea a planetei noastre. Diametrul ei aparent este de 31'.

Luna nu are aproape de loc atmosferă: particulele gazoase având o viteză termică în funcție de temperatura lor, în cursul unei zile lunare (de aproape 14 zile terestre) ele obțin viteze mult mai mari decât cea de evadare de pe Lună, de 2,38 km/s. Nu s-au putut observa fenomene crepusculare pe Lună. Ulterior s-a pus în evidență existența unui înveliș gazos lunar extrem de rarefiat. Nu există apă pe Lună, deoarece în timpul zilei lunare apa s-ar evapora și s-ar pierde prin difuziune în spațiul interplanetar.



Fig. 81. Fotografia feței vizibile a Lunii. Regiunile umbrite reprezintă mările lunare.

Temperatura pe Lună este foarte variabilă: în timpul zilei lunare ajunge până la $+120^{\circ}\text{C}$, iar în noaptea lunară până la -160°C . Este de remarcat un fapt important: în timpul eclipselor totale de Lună, într-o oră și jumătate, temperatura scade sub -100°C . Cu ajutorul radiolocației s-a constatat că radiația radioelectrică a Lunii nu prezintă nici o variație cu faza Lunii, ci rămâne constantă la -135°C . Acest lucru se explică prin structura granulară poroasă a suprafeței lunare, care, fiind rău conducătoare, împiedică încălzirea scoarței lunare. De aici rezultă răcirea foarte rapidă a suprafeței lunare în timpul eclipsei totale, ca și rezultatele indicate de unde radio, care pătrund la o adâncime de 40–100 cm în solul lunar.

Luna absoarbe 93% din lumina incidentă și reflectă numai aproximativ 7% din ea.

Așa cum a dovedit pentru prima oară Galilei cu luneta astronomică construită de el, suprafața Lunii nu se prezintă ca o suprafață geometrică perfectă, ci are multe forme de relief. Dar se deosebește de suprafața terestră: chiar și cu ochiul liber se pot vedea pe Lună pete mari întunecate, numite impropriu *mări*, deoarece nu sînt întinderi mari de apă, ci depresiuni uriașe, avînd un albedou mic (de unde culoarea lor mai întunecată). În afara mărilor, terenul este foarte accidentat, prezentînd *lanțuri de munți*, ca Alpii, Apeninii, avînd înălțimi mari (pînă la 9 km), determinate cu ajutorul umbrelor acestora. Toată suprafața Lunii este presărată cu *circuri lunare*, care sînt munți inelari închizînd în interiorul lor o depresiune plană cu diametrul de ordinul zecilor și sutelor de kilometri. Se mai observă *crăpăturile lunare* foarte înguste și adînci și niște *sisteme radiale* care apar ca raze luminoase în jurul unor circuri (de exemplu, craterul Copernic) (fig. 82).

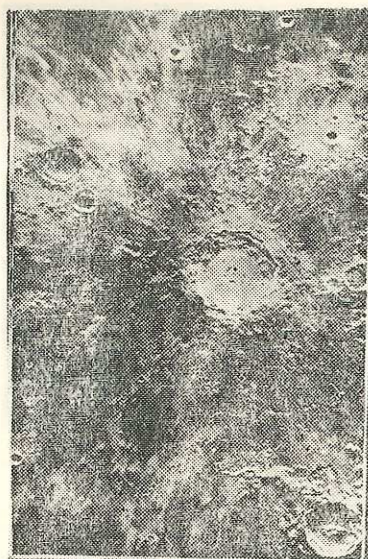


Fig. 82. Fotografia regiunii cercului Copernic.

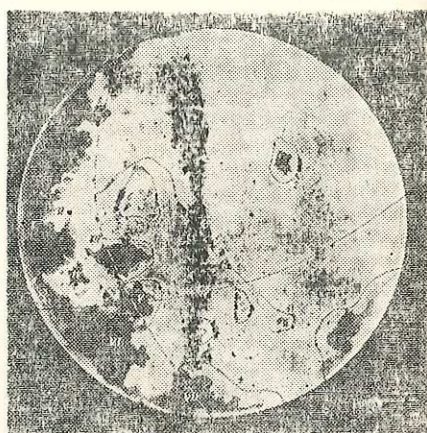


Fig. 83. Fotografia feței invizibile a Lunii.

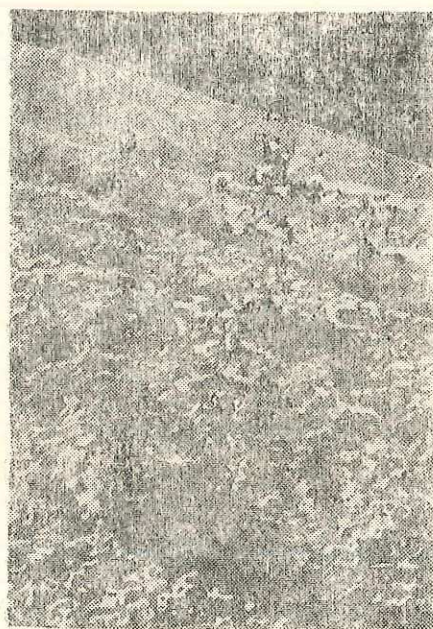


Fig. 84, a. Fotografia Lunii. Punctele din fotografie reprezintă circuri de diferite dimensiuni.



Fig. 84, b. Luna fotografiată de satelitul circumlunar Orbiter 2.

Toate aceste detalii aparțineau în trecut numai părții vizibile a Lunii. Dar experiențele cu rachete cosmice au adus informații, atât asupra Lunii, cât și a spațiului care o înconjură.

O rachetă lansată de Uniunea Sovietică în octombrie 1959 a fotografiat două treimi din partea nevăzută a Lunii și a transmis pe Pământ aceste fotografii. Din ele rezultă că marea majoritate a reliefului părții nevăzute este muntos, mările lunare — puține la număr — ocupând abia 10%, în timp ce pe jumătatea vizibilă acoperă 30—35% din ea (fig. 83).

În august 1965, racheta sovietică Sonda III a fotografiat ultima parte din fața invizibilă a Lunii. Menționăm că Uniunea Astronomică Internațională a dat numele lui Spiru Haret unui crater de pe partea invizibilă a Lunii, reliefând astfel contribuția acestuia în studiul mișcărilor din sistemul solar.

Pe lună, neexistând atmosferă, nici apă, nu poate exista viață. Nu există roci sedimentare, ci numai roci cristaline, care din cauza marilor variații de temperatură, sînt supuse distrugerii.

În iunie 1964 o rachetă americană Ranger VII, iar în februarie și în martie 1965 Ranger VIII și IX au transmis circa 17 700 de fotografii ale Lunii, luate cu cîteva minute înainte de aselenizare. Ele dovedesc că suprafața Lunii este foarte accidentată și confirmă originea meteoritică a circurilor lunare (fig. 84, a). Dar s-a pus în evidență și existența craterelor vulcanice. Vîntul solar (jet de protoni și electroni solari) a modificat în decursul vremii suprafața Lunii.

Din anul 1966, începînd cu Luna 9, o serie de sonde sovietice (Luna) și americane (Surveyor) au fost depuse lin pe suprafața Lunii. Ele au transmis fotografii detaliate ale solului lunar înconjurător cît și ale probelor de rezistență a acestuia. O serie de rachete au fost dirijate pentru a deveni sateliți lunari (tip Luna și tip Orbiter), în scopul de a obține fotografii ale întregului relief lunar, pentru a găsi locurile potrivite viitoarelor aselenizări (fig. 84, b).

În iulie 1969, cu ajutorul navei spațiale Apollo 11, s-a realizat prima aselenizare a omului (cosmonauții Neil Armstrong și Edwin Aldrin).

Planeta Marte are doi sateliți: *Phobos* și *Deimos*, cu diametrele de 15, respectiv 8 km, iar distanțele lor față de centrul planetei sînt de 9 350 km, respectiv 23 500 km. Dintre aceștia, *Phobos*, avînd o perioadă de revoluție de 7^h39^m, execută față de planetă o mișcare care reamintește pe aceea a sateliților artificiali: răsare la apus și apune la răsărit. *Planeta Jupiter* are 16 sateliți, dintre care 4, cei mai mari, au fost descoperiți de Galilei. Aceștia din urmă se văd ușor, chiar și cu un binoclu. Eclipsele lor au servit la determinarea vitezei luminii, ca și a longitudinilor geografice. Au proprietăți asemănătoare cu proprietățile Lunii, nu au atmosferă și prezintă planetei aceeași față. Sînt compuși din roci de gheață. Ceilalți sînt foarte mici; dintre ei, al VIII-lea, al IV-lea și al XI-lea au o mișcare retrogradă (fig. 85). Trei dintre sateliți au fost descoperiți în 1979—1980 cu ajutorul stațiilor interplanetare Voyager.

Saturn are 17 sateliți, dintre care al nouălea are mișcare retrogradă. Sateliții interiori sînt foarte strălucitori (probabil sînt din gheață). Cel mai mare, Titan, cu masa aproape dublul masei lunare, este înconjurat de o atmosferă de metan. Deci în cursul existenței sale temperatura sa n-a putut depăși 0°C, altfel metanul ar fi evadat.

Sateliții 1980S6, XIII—XVII au fost descoperiți în 1980 cu ajutorul stației Voyager 1.

Uranus are 14 sateliți, toți cu mișcare retrogradă.

Neptun are 8 sateliți, primul dintre ei avînd mișcare retrogradă.

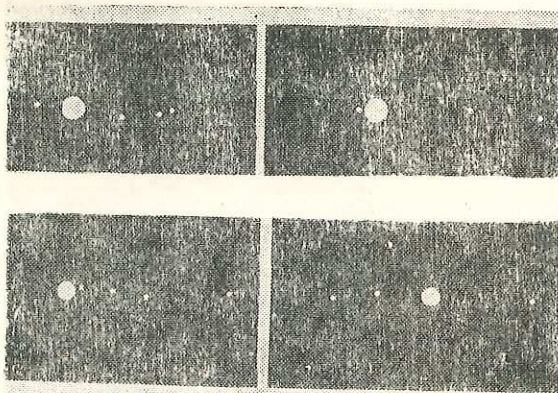


Fig. 85, a. Fotografia sateliților lui Jupiter.

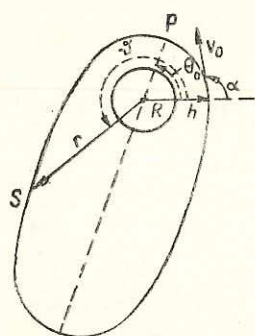


Fig. 85, b. Orbita unui satelit artificial.

În mecanică se arată că aceste trei mărimi se pot exprima cu ajutorul altor trei, v_0 , α și h , mai sus definite, numite *parametri de lansare*:

$$p = \frac{(R + h)^2 v_0^2 \sin^2 \alpha}{g R^2};$$

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{2gR^2}{R + h} - v_0^2 \right) \frac{(R + h)^2 v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2 R^2}}$$

și

$$\operatorname{tg} \Theta_0 = \frac{(R + h) v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g R^2 - (R + h) v_0^2 \sin^2 \alpha},$$

unde R este raza Pământului, iar g accelerația gravitațională la suprafața lui.

Natura conicii este determinată de valorile excentricității e :

— pentru $e = 0$ rezultă $v_0' = R \sqrt{\frac{g}{R + h}}$, numită *prima viteză cosmică*. La suprafața terestră, valoarea ei este $v_0' = 7,9$ km/s. Mișcarea corpului va fi circulară;

— pentru $e = 1$ rezultă $v_0'' = R \sqrt{\frac{2g}{R + h}}$, numită *a doua viteză cosmică* și avînd valoarea $v_0'' = 11,2$ km/s la suprafața Pământului. Mișcarea va fi parabolică;

— pentru $1 > e > 0$ rezultă $v_0'' > v_0 > v_0'$, mișcarea este eliptică;

— pentru $e > 1$ rezultă $v_0 > v_0''$, mișcarea este hiperbolică.

Dacă corpul are viteza inițială $v_0'' > v_0 \geq v_0'$, va descrie un cerc sau o elipsă, avînd Pământul (adică centrul lui) în unul din focare: el este un *satelit artificial al Pământului*.

Dacă viteza inițială a corpului $v_0 \geq v_0''$, acesta va descrie o parabolă sau o hiperbolă, evadînd din cîmpul gravitic al Pământului; el este o *rachetă cosmică*.

Realizînd parametrii de lansare cu ajutorul unei fuzee, cu mai multe trepte — conform ideilor lui Țiolkovski — putem realiza orice satelit artificial pentru planeta noastră sau o navă cosmică spre alte corpuri cerești.

Sateliți artificiali. Fie o masă m lansată de la înălțimea h deasupra scoarței terestre, cu viteza inițială v_0 , a cărei direcție formează cu verticala punctului de lansare unghiul α . Conform primei legi a lui Kepler, corpul lansat va descrie o conică

$$r = \frac{p}{1 + e \cos (\Theta - \Theta_0)},$$

unde:

p este parametrul;
 e — excentricitatea și
 Θ_0 — longitudinea perigeului conicii (vezi fig. 85, b).

Spre deosebire de sateliții naturali, cei artificiali au o existență limitată. Orbitele lor fiind în general elipse, au perigeele lor în straturile mai dense ale atmosferei, care opune o rezistență:

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2;$$

cunoscînd în formulă secțiunea S a satelitului, viteza v a lui și coeficientul (aerodinamic) $C_D \approx 2,2$ putem deduce densitatea ρ a atmosferei, cu ajutorul metodelor mecanicii cerești.

Datorită acestei rezistențe, perioada T a satelitului și în consecință semi-axa lui a se reduc mereu, de unde accelerarea mișcării satelitului. Acesta, intrînd tot mai mult în atmosfera densă, sfîrșește prin a se aprinde — ca și materia meteorică și de aici moartea lui. Durata L a existenței satelitului poate fi dată prin formula:

$$L = \frac{e \cdot T}{T'} \times F(a, e, \rho),$$

unde T' este variația zilnică a perioadei T a satelitului, iar F o funcție complicată de semi-axa mare, excentricitate și densitatea atmosferei.

Născut ca un rod al genului omenesc, satelitul artificial, dispăre, după ce în timpul existenței sale, delimitată de creatorul său, i-a furnizat acestuia datele culese din spațiul extraterestru prin aparatura pe care a purtat-o.

Dacă satelitul se mișcă în planul ecuatorial terestru și are perioada egală cu perioada de rotație a Pământului, atunci el este *satelit geostaționar*. Distanța lui față de centrul Pământului este de aproximativ 42 200 km. Asemenea sateliți sînt folosiți, de exemplu, pentru transmiterea programelor de televiziune.

3. Planetele mici

Pe baza golului existent în șirul lui Bode a fost bănuită existența unei planete între Marte și Jupiter. La 1 ianuarie 1801, astronomul italian Piazzi a descoperit mica planetă *Ceres*, apoi au urmat *Pallas*, *Juno*, *Vesta* (fig. 86) și *Astreea*. Pe cale fotografică s-au descoperit alte multe planete mici, numărul lor ajungînd la peste 2 000. Distanța lor mijlocie la Soare este de 2,8 unități astronomice, dar orbitele lor individuale sînt

foarte diferite. Dimensiunile lor sînt reduse: numai *Ceres* are diametrul de 800 km; în general, diametrele lor sînt cuprinse între 15 și 75 km. Asteroidul *Hermes* are diametrul de 1 400 m. Unii asteroizi prezintă variații vizibile ale strălucirii lor, datorită formelor lor neregulate și rotațiilor lor, care pledează în favoarea ideii că provin din fragmentarea unor corpuri planetare mai mari.

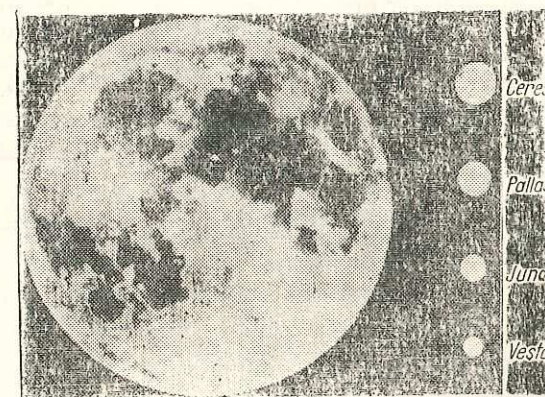


Fig. 86. Primele patru planete mici, Ceres, Pallas, Juno și Vesta comparate cu Luna.

Masa totală a planetelor mici este $1/3\,000$ din a Pământului. Asemenea mase mici nu pot reține atmosfera, nici gheața.

Studiul mișcării asteroizilor este important, întrucât verifică pe deplin toate cazurile de mișcare prevăzute teoretic de mecanica cerească (de exemplu, *grupul troian* format din 14 planete mici, care se mișcă astfel încât formează împreună cu Soarele și Jupiter două triunghiuri echilaterale, unele precedând pe Jupiter, altele urmându-l).

4. Cometele

Cometele au fost considerate în vechime ca fiind corpuri prevestitoare de rele, deoarece ele își schimbă vizibil nu numai poziția, ci și forma. Fiind în opoziție cu ideea că formele corpurilor cerești sînt neschimbătoare, ele au fost considerate ca fenomene atmosferice (cum este curcubeul).

Tycho Brahe în 1577, pe baza deplasării paralactice, stabilește natura extraterestră a cometelor. Newton a stabilit legile de mișcare ale cometelor. Halley a calculat o serie de orbite cometare și descoperă astfel periodicitatea lor (după cometa care-i poartă numele). S-a ajuns ulterior la concluzia că orbitele cometare fac parte din sistemul solar, pe care pot să-l părăsească numai în urma unei perturbații. Se cunosc în prezent elementele orbitale la aproximativ 600 de comete. În medie pe an se descoperă șase comete, dintre care o treime sînt comete periodice, deja observate în trecut. Orbitele cometelor sînt elipse (la cometele periodice), parabole sau hiperbole (la cometele neperiodice).

O cometă apare ca un corp puțin strălucitor — *nucleul*, înconjurat de o nebulozitate — *coama*. Când trece prin apropierea Soarelui, coama se prelungește printr-o trenă luminoasă — *coada*, cu atît mai lungă cu cît cometa este mai aproape de Soare și totdeauna dirijată în sensul opus Soarelui, datorită presiunii radiațiilor solare cît și unor fenomene electrice. Coada poate fi dreaptă sau curbă, unică sau multiplă. Astfel, cometa Donati care a apărut în 1858, pe lîngă o coadă largă, mai avea două cozi subțiri și rectilinii (fig. 87).

Dimensiunile cometelor sînt enorme. *Capul* cometei (nucleul plus coama) are un diametru între 50 000 și 200 000 km (dacă este mai mic nu se observă), iar coada poate avea milioane de kilometri, putînd ajunge pînă la dublul distanței de la Pămînt la Soare.

Masa cometei este extrem de rarefiată; stelele se văd prin coada cometei; cînd ea trece prin vecinătatea unei planete, este totdeauna perturbată, dar asupra planetei nu are nici o influență. Densitatea medie a materiei cometare este a 9 000-a parte din aceea a atmosferei terestre; în 1910, Pămîntul a trecut prin coada cometei Halley fără nici o urmă



Fig. 87. Cometa Donati (1858).

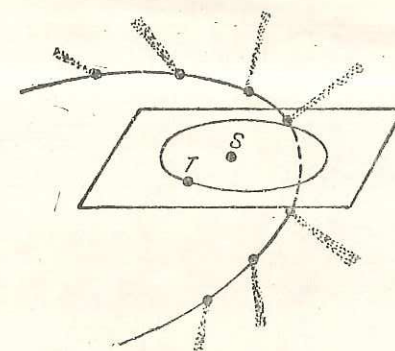


Fig. 88. Orbita unei comete.

asupra vieții noastre. Masa cometei este mai mică decît a miliarde parte din masa terestră. Din acest motiv, perturbațiile pricinuite de planetele mari pot modifica atît excentricitatea orbitei, cît și înclinarea ei pe planul eclipticii.

După spectrul lor, continuu, cu linii strălucitoare de emisiune, se poate deduce compoziția cometei: partea solidă a nucleului, ca și pulberea din coama cometei, difuzează lumina solară, iar gazele incandescente rarefiate, excitate de radiația solară ultravioletă, dau linii de emisiune. Au fost identificate diferite metale și hidrocarburi (hidrați de metan, amoniac, cianogen etc.).

Deci cometele sînt formate din blocuri compacte solide, praf și gaze îngrămădite în nucleu, unde sînt prinse toate, ca într-o carapace de gheață, datorită temperaturii foarte scăzute.

După o ipoteză recentă, nucleeele cometare se află într-un briu exterior sistemului planetar, în care ele circulă în jurul Soarelui, dar la adăpost de arșița lui datorită distanțelor lor mari.

Brîul cometar se extinde între 50 000 și 150 000 de unități astronomice, cuprinzînd aproximativ 100 de miliarde de nucleee cometare, a căror masă totală nu depășește o treime din aceea a Pămîntului. Nucleeele cometare, mici corpuri sumbre și înghețate (avînd o temperatură de -270°C), circulă într-o regiune sferică de zece miliarde de ori mai mare decît aceea ocupată de planete. O perturbație venită dinafară poate obliga un nucleu oarecare să intre în interiorul sistemului solar, apropiindu-se de Soare pe o elipsă (fig. 88). Pe măsura apropierii sale, nucleul se încălzește pe partea însoțită și particulele ușoare țișnesc spre Soare, dar, recurbate de vîntul solar, ele înconjură nucleul formînd coama, apoi coada cometei. În apropierea Soarelui, întreaga materie gazoasă este volatilizată, dar o parte din nucleu, protejat de un strat de pulbere rău conducător, rămîne solid. După trecerea la periheliu, cometa, îndepărtîndu-se de Soare, se răcește treptat, iar coama și coada se reduc. Scăzînd presiunea razelor solare, nucleul atrage materia din jurul ei, care din nou „îngheață” în jurul nucleului. Dar masa cometei nu mai este cea inițială, deoarece o parte a ei a fost captată de Soare cu ocazia trecerii prin periheliu. După un număr de ani, cometa periodică se apropie din nou de Soare și procesul descris mai sus se repetă. După 100–200 de treceri la periheliu, cometa pierde gazele și elementele ușoare volatile, devenind o *cometă bătrîna*.

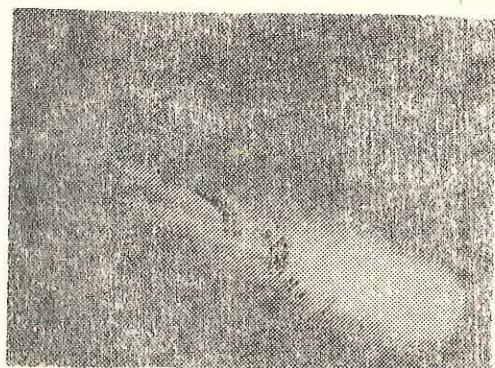


Fig. 89. Cometa Halley (1986).

În martie 1986, cometa a fost studiată cu ajutorul unor sonde spațiale, care au trecut prin vecinătatea ei (Giotto, Vega etc.). S-au obținut rezultate importante privind structura cometei și compoziția ei chimică.

În 1957, cometa Arend-Roland, neperiodică, a fost văzută cu ochiul liber (fig. 89) și nu va mai reapare excentricitatea ei depășind unitatea.

La noi în țară, profesorul Daimaca a descoperit în 1943 două comete care-i poartă numele.

Departate de a fi prevestitoare de rele, cometele oferă prin apariția lor neașteptată pe lângă o priveliște splendidă, o minunată ocazie pentru a studia materia extraterestră.

5. Meteori și meteoriți

Adesea, în nopțile senine, se pot vedea pe cer așa-numitele „stele căzătoare”. Departate de a fi stele, și mai ales căzătoare, ele sînt fenomene luminoase, numite *meteori*, cauzate de pătrunderea în atmosfera terestră a unor corpuri solide, cu viteze medii între 10 și 70 km/s, din spațiul interplanetar. Dacă corpul meteoric are masa de ordinul miligramelor, în urma ciocnirii cu particulele de aer se încălzește brusc și la o înălțime de 50–80 km se transformă în întregime într-un gaz incandescent, care se împrășteie în aer. Numărul lor este uriaș: mai mult de 100 de miliarde pe an. Se studiază vizual și fotografic. Radiolocația bazată pe reflexia undelor radio, pe direle meteorilor, constituie azi mijlocul de studiu cel mai eficace al meteorilor. Cînd masa lui este de sute și mii de kilograme, datorită rezistenței aerului se încălzește la suprafața sa pînă la mii de grade și apare cu o strălucire care o depășește pe aceea a planetei Venus. Acesta este un *bolid*. Lasă în urma lui o dîră luminoasă, apoi se aud bubuituri, huruit și un pocnet ca de trăsnet. Bolidul apare la înălțimea de circa 100–120 km, își încetinește mereu mișcarea și dispare la înălțimea de 5–20 km într-un nor întunecat. Dacă corpul

Va mai forma o coadă mai modestă de pulberi și, nemaivind carapacea protectoare de gaze, în urma ciocnirilor repetate cu materie meteoritică, se desface în mai multe bucăți, care se transformă într-un *roi meteoritic*.

Astfel s-a întîmplat cu cometa Biela, care la mijlocul veacului trecut s-a descompus în două comete, apoi într-un roi meteoritic.

Cometa Encke, cu o perioadă de 3,3 ani, revine regulat dar este abia vizibilă în cîmpul lunetei. În schimb, cometa Halley este o splendidă cometă cu o perioadă de 76 de ani; a fost vizibilă în 1910–1911 și, de asemenea în 1986.

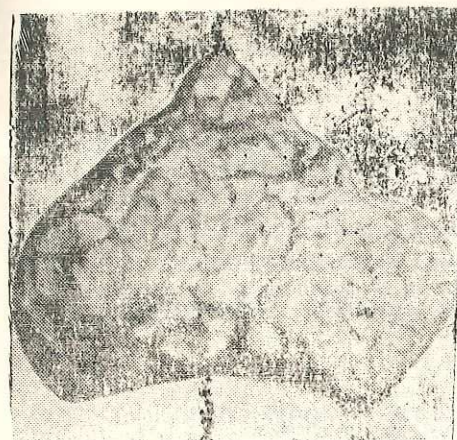


Fig. 90. Fotografia unui meteorit.

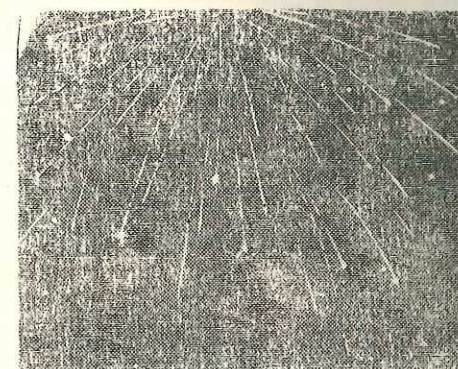


Fig. 91. O ploaie de meteori.

lui nu s-a evaporat complet, restul lui cade sub acțiunea gravitației pe suprafața terestră sub forma unei bucăți numită *meteorit* (fig. 90). Uneori, în urma presiunilor din atmosferă, corpul meteoric explodează și apare o *ploaie meteorică* (fig. 91). Pe teritoriul țării noastre a căzut o astfel de ploaie în 1882 la Mociu (județul Cluj), bucata cea mai mare cîntărind 35,5 kg.

Cînd corpul meteoritic are masa de sute și mii de tone, el atinge Pămîntul cu o viteză cosmică. La ciocnirea cu Pămîntul explodează, formînd un crater meteoric și, din cauza mării energii, se transformă într-un gaz incandescent. Astfel s-a întîmplat cu celebrul meteorit Tun-Gusk (U.R.S.S. 1908) și cu cel din Arizona (S.U.A.). Primul se pare că a fost nucleul unei comete care s-a ciocnit cu Pămîntul, iar al doilea a fost format de un mare meteorit fieros. Probabil că la fel s-au format circurile lunare, foarte frecvente, ca și cele observate pe Marte.

După compoziția lor chimică împărțim meteoriții în pietroși, feroși, și amestecați. Studiul meteoriților este extrem de important: este unicul caz cînd putem studia direct de pe Pămînt, prin metodele cele mai precise, materia extraterestră. Din studiul lor aflăm că și corpurile cerești sînt formate din aceleași elemente ca și Pămîntul; deci *ne confirmă* unitatea materiei din Univers. Dar elementele din meteoriți, trecînd prin condiții mult diferite de cele terestre, dau combinații chimice diferite, al căror studiu este utilizat în metalurgie, la obținerea diferitelor aliaje. Studiul mișcării meteoriților ne informează asupra atmosferei terestre. Pe baza studiului meteoriților s-au întemeiat ipotezele asupra interiorului Pămîntului.

În țara noastră, cea mai bogată colecție de meteoriți se găsește la catedra de geologie și mineralogie a Universității din Cluj-Napoca (circa 200 de exemplare).

Adesea, meteorii apar în grupe, care se pare că provin din același punct al cerului (*punct radiant*), uneori revenind în fiecare an și la aceeași dată; acestea sînt *ploile perio-*

dice de meteori. Cele mai abundente sînt Perseidele (de la 9 la 11 august) și Leonidele (în 13 și 14 noiembrie), numele lor provenind de la punctele radiante situate respectiv în constelațiile Perseu și Leul.

Care este explicația acestui fenomen?

Un curent de corpuscule provenind din descompunerea unei comete circulă pe vechiul drum al cometei, deci pe o elipsă avînd Soarele în focar. Pămîntul traversează anual acest curent și atunci apare o ploaie de meteori, văzută în direcția tangentei la orbita corpusculilor. Ploaia meteorică este mai bogată cînd Pămîntul traversează însuși vechiul nucleu al cometei. Din observații s-a constatat că întotdeauna orbita corpusculilor este vechea orbită a unei comete. Astfel, ploaia meteorică care apare în 27 noiembrie în Andromeda urmează orbita fostei comete Biela.

6. Materia interplanetară

Spațiul dintre planete — imens în raport cu dimensiunile acestora — nu este gol, ci ocupat de materie rarefiată de diferite dimensiuni, care provine din emisiunea corpusculară a Soarelui, din dezagregarea unor corpuri din sistemul solar, cum sînt: cometele, planetele mici, cît și din resturile materiei originare din care s-a format sistemul solar.

Lumina zodiacală este una din manifestările acestei materii. Se observă în planul eclipticii după apusul Soarelui sau înainte de răsăritul lui, sub forma unui con de lumină. Se datorește unui nor de praf care se întinde de la Soare pînă dincolo de orbita terestră.

Lumina antisolară se poate observa foarte greu la miezul nopții, în opoziție cu Soarele, și este lumina solară difuzată de o coadă gazoasă a Pămîntului.

În concluzie, sistemul solar se caracterizează printr-o simplitate uimitoare. Preponderența masei Soarelui și inexistența aici a altor mase comparabile cu aceasta fac ca mișcarea planetelor să fie simplă și ușor de descifrat. Dacă mai exista încă o masă ca aceea a Soarelui, mișcările planetelor ar fi fost mult mai complicate, iar eforturile lui Kepler, Newton și ale altor genii ale omenirii ar fi putut fi zadarnice. Mai mult, marea variație a distanțelor planetare față de Soare ar fi făcut imposibilă viața în sistemul solar.

Exerciții

1. De cîte ori este mai mică atracția Soarelui asupra planetei Saturn decît asupra Pămîntului?

2. Care va fi valoarea constantei solare pe planeta Marte, știind că dis-

tanța medie a planetei Marte la Soare este de 1,52 unități astronomice?

3. Cum se poate dovedi că cometele nu aparțin atmosferei terestre, așa cum s-a crezut în antichitate?

CAPITOLUL X

STELELE

1. Magnitudini, străluciri și temperaturi stelare

De la primele cercetări pînă la sfîrșitul veacului al XVIII-lea eforturile în cunoașterea Universului au fost îndreptate mai ales spre sistemul solar. Stelele serveau în primul rînd la orientarea navigatorilor. Cu ochiul liber, pe întreaga sferă cerească se pot vedea 5 000—6 000 de stele, dar la un moment dat deasupra orizontului avem 2 000—2 500 de stele. Dacă privim prin lunetă o stea care văzută cu ochiul liber apare singură pe o porțiune de fond negru, ea este o unitate într-un cîmp de stele care se pierd din vedere. Cu o lunetă avînd un obiectiv de tip școlar de 10 cm diametru vedem peste un milion de stele. Cercetarea lumii stelare începe cu telescopul astronomului amator William Herschel (1738—1822).

Stelele sînt imense sfere gazoase incandescente. Ele se recunosc după următoarele proprietăți:

- distanțele unghiulare reciproce rămîn constante;
- nu prezintă un diametru aparent nici în cele mai puternice instrumente;
- prezintă fenomenul de scînteiere: în fiecare clipă variază strălucirea și culoarea lor, datorită refracției și interferenței luminii în atmosfera terestră.

La prima vedere constatăm că stelele nu sînt identice între ele, ci se deosebesc prin strălucire și prin culoare.

Strălucirea unei stele depinde de energia pe care o eliberează, cît și de distanța sa pînă la noi.

Prin *strălucirea unei stele* înțelegem iluminarea produsă de aceasta pe suprafața receptoare așezată perpendicular pe direcția ei.

Prin *magnitudinea stelei* înțelegem intensitatea senzației pe care o produce energia stelei asupra unui organ receptor. După natura organului receptor avem:

- *magnitudini vizuale*, unde receptorul este ochiul;
- *magnitudini fotografice*, unde receptorul este placa fotografică;
- *magnitudini fotoelectrice*, unde receptorul este celula fotoelectrică;

— *magnitudini bolometrice**, unde receptorul este bolometrul.

Hipparh (sec. II î.e.n.) a împărțit stelele vizibile cu ochiul liber în 6 clase de magnitudini, cele mai strălucitoare fiind de magnitudinea 1 și cele la limita vizibilității de magnitudinea 6. Notînd cu E strălucirea și cu m magnitudinea stelei, avem:

șirul magnitudinilor: 1, 2, 3, 4, 5, 6, ..., n , ..., m ;

șirul strălucirilor $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, \dots, E_n, \dots, E_m$.

Ne propunem să găsim rația progresiei strălucirilor, știind că dacă magnitudinea crește în progresie aritmetică, atunci strălucirea variază în progresie geometrică (legea Weber-Fechner). Avem:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{E_2}{E_3} = \frac{E_3}{E_4} = \frac{E_4}{E_5} = \dots = \frac{E_n}{E_{n+1}} = \dots = x$$

iar $\frac{E_1}{E_6} = x^5$. Știind că $\frac{E_1}{E_6} = 100$, avem $x = 100$, de unde:

$$\lg x = 0,4; x = 2,512.$$

Deci fiecare clasă este mai strălucitoare de 2,512 ori decît următoarea ei.

Să găsim o relație între strălucirea E_m și magnitudinea m a stelei. Avem între strălucirile E_m și E_n ale celor două clase:

$$\frac{E_n}{E_m} = 2,512^{m-n}.$$

Trecînd la logaritmi, avem:

$$\lg \frac{E_n}{E_m} = (m-n) \times 0,4,$$

de unde:

$$\begin{aligned} m-n &= 2,5 (\lg E_n - \lg E_m); \\ m + 2,5 \lg E_m &= n + 2,5 \lg E_n = \text{const.} \end{aligned}$$

Această formulă

$$m + 2,5 \lg E_m = \text{const.}$$

definește magnitudinea, în funcție de strălucire. Deoarece strălucirea sau iluminarea are valori reale pozitive, rezultă că magnitudinea este un număr real. Uneori unitatea de magnitudine se notează cu m ca exponent.

Astfel Soarele are magnitudinea $-26^m,7$, Luna $-12^m,6$, iar stelele cele mai slabe sînt observabile pînă la magnitudinea $+24$. Trebuie să amintim că o stea de magnitudine $0^m,8$, aflată la zenit, are strălucirea unei luminări aflate la distanța de 1 km, iar o stea de magnitudinea 6 are strălucirea aceleiași luminări așezate la 11 km.

Magnitudinea astfel definită se numește *magnitudine aparentă*, deoarece ea depinde de distanță. Prin *magnitudinea absolută* M a unei stele înțelegem magnitudinea pe care ar avea-o dacă s-ar afla la distanța de 10 parseci.

Scriind că strălucirea este invers proporțională cu pătratul distanței, avem:

$$\frac{E_M}{E_m} = \frac{D^2}{10^2} = 2,512^{m-M},$$

* Bolometrul este un instrument în care rezistența electrică a unei plăcuțe de platină crește proporțional cu iluminarea produsă de radiația incidentă. Este deci un receptor neselectiv.

unde M este magnitudinea absolută și 10 parseci distanța corespunzătoare, iar m magnitudinea aparentă a stelei aflate la distanța D . Avem:

$$0,4 (m - M) = 2 (\lg D - \lg 10),$$

de unde:

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi,$$

în care π este paralaxa anuală a stelei $D = \frac{1}{\pi}$. Cu această formulă putem calcula din

magnitudinea aparentă pe cea absolută, dacă cunoaștem paralaxa π a stelei. Pentru Soare obținem:

$$M_{\odot} = -26,7 + 5 - 5 \lg \frac{1}{206265} = 4^m,9,$$

Dacă printr-un mijloc oarecare putem determina pe M , iar pe m îl măsurăm cu ajutorul unui fotometru, putem determina distanța:

$$\lg D = \frac{1}{5} (m - M) + 1.$$

Astfel, pentru steaua Deneb, care are $M = -5,2$ și $m = +1,3$, rezultă:

$$\lg D = \frac{1}{5} (m - M) + 1 = 2,30, \text{ de unde } D = 200 \text{ de parseci.}$$

Magnitudinile aparente se determină prin măsurători fotometrice cu fotometrul. În acest domeniu a adus contribuții valoroase și astronomul român Ioan Armeanca*.

Temperaturile diferite ale stelelor dau acestora culori diferite, care se disting ușor prin observații. Determinarea temperaturilor stelare se poate face fie prin măsurarea energiei globale primite de la steaua respectivă, fie prin studiul repartiției energiei în spectrul stelei (v. cap. VIII). Ele reprezintă temperatura stratului care contribuie mai mult la formarea spectrelor, deci aparțin atmosferelor stelare. Le numim temperaturi efective.

Raza stelei se poate determina din energia totală L emisă de o stea în unitatea de timp (după formula lui Stefan-Boltzmann):

$$L_* = 4\pi R_*^2 \sigma T_*^4,$$

unde R_* și T_* sînt raza, respectiv temperatura stelei. Comparînd această relație cu cea similară pentru Soare, obținem:

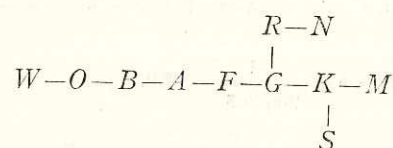
$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = \frac{R_*^2 T_*^4}{R_{\odot}^2 T_{\odot}^4}$$

din care se poate deduce raza stelei.

* Ioan Armeanca (1900–1954), profesor de astronomie la Universitatea din Cluj, a introdus studiul stelelor variabile și al problemelor de fotometrie în țara noastră.

2. Clasificarea spectrală a stelelor *

Două stele nu prezintă spectre identice, dar în mulțimea de spectre stelare găsim anumite proprietăți comune, pentru a le grupa în clase (fig. 92). Considerînd ca bază a clasificării temperatura efectivă a stelelor, avem următoarele clase spectrale, notate cu cîte o literă:



Caracteristicile claselor spectrale

Clasa	Denumirea, culoarea	Linii caracteristice	Temperatura în K	Reprezentant
1. W	Stele Wolf-Rayet	linii ale He, He ⁺	100 000	—
2. O	Stele albastre f. calde	linii He ⁺⁺ , Si ⁺⁺⁺	40 000	ζ Puppis
3. B	Stele albastre (cu heliu)	linii He, Si ⁺⁺⁺	20 000	Riegel
4. A	Stele albe (cu hidrogen)	linii H, metale	11 000	Sirius, Vega
5. F	Stele albe galbene (metalice)	linii H, Ca ⁺ , metale	8 000	Procyon
6. G	Stele galbene, (tip solar)	linii H, Ca ⁺ , metale	6 000	Soarele, Capella
7. K	Stele galbene-portocalii	Ca ⁺ , metale	4 500	Arcturus Aldebaran
8. M	Stele roșii (cu oxid de titan)	benzi absorbție TiO	3 500	Betelgeuse Antares
9. R	Stele galbene-închis, (carbonate)	benzi moleculare de CN, CH și CO	3 300	—
10. N	Stele roșii-rubinii (carbonate)	benzi moleculare de carbon	3 300	—
11. S	Stele gigante variabile	benzi moleculare de oxid de zirconiu, tehnitium	3 000	—

Să considerăm două axe de coordonate rectangulare și să notăm pe axa absciselor temperaturile efective (sau tipul spectral) și pe axa ordonatelor magnitudinile bolometrice absolute. Stelele la care dispunem de aceste două mărimi vor fi reprezentate în planul axelor prin cîte un punct. Dar aceste puncte nu umplu întregul plan, ci sînt așezate pe niște benzi care constituie *diagrama spectru-luminozitate* (*diagrama Hertzsprung-Russell*) (fig. 93).

* Clasele au fost divizate în 10 subclase, ca de exemplu A0 A9. Soarele are spectrul notat G2.

După benzile diagramei putem da următoarea clasificare după dimensiuni:

a) *Stelele supragigante*, numite astfel după razele lor cuprinse între 30 și 328 de raze solare, iar masele cuprinse între 30 și 50 de mase solare. Aparțin tipurilor spectrale de la B la M.

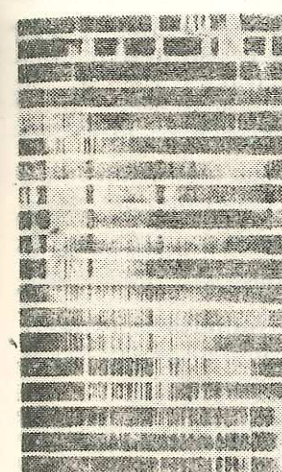


Fig. 92. Spectre stelare.

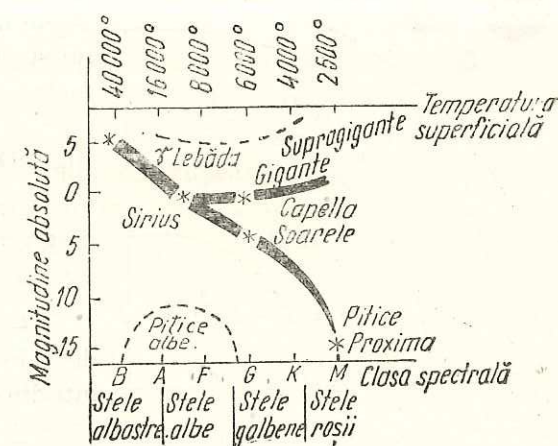


Fig. 93. Diagrama spectru-luminozitate.

b) *Stelele gigante*, cu raze cuprinse între 7 și 140 de raze solare și masele între 3 și 14 mase solare. Ele aparțin tipurilor spectrale F-M.

Aceste două categorii de stele au densități mai mici decît a suta parte din densitatea Soarelui.

c) *Stelele subgigante*, cu razele între 1 și 10 raze solare, iar masele între 1 și 2 mase solare, aparținînd numai tipurilor spectrale G-K.

d) *Stelele seriei principale*, numite astfel pentru că ele cuprind marea majoritate a stelelor: 98%. Aparțin tipurilor spectrale de la B la M. Razele lor sînt cuprinse între 5 și 0.4 raze solare, iar masele lor sînt ordonate de la 2 la 0,16 mase solare (de la stînga la dreapta), fapt care permite evaluarea maselor lor. Densitățile lor sînt între 0,1 și 4,5 ori densitatea solară. Stelele din partea dreaptă a acestei serii, avînd razele mici, se mai numesc *pitice roșii*.

e) *Stelele pitice albe*, formînd o grupă aparte din stele albe de dimensiuni foarte mici (de ordinul dimensiunilor Pămîntului), dar cu masele de ordinul masei solare. De aici rezultă densitățile lor colosale: astfel, steaua Sirius B are densitatea de 170 000 de ori aceea a apei.

Aceste densități uriașe se explică prin sfărîmarea barierelor electronice ale atomilor, care formează un gaz electronic (materie degenerată), în care nucleele atomilor pot fi mult mai apropiate. Densitatea lor medie este de sute de kilograme și chiar de cîteva tone pe cm³. Un degetar de materie stelară cîntărește cît o locomotivă uriașă.

În zilele noastre se discută existența *stelelor hiperdense neutr onice* și *hiperonice*, cu densități mult mai mari ca la piticele albe, fiind formate în întregime din neutroni sau hiperoni.

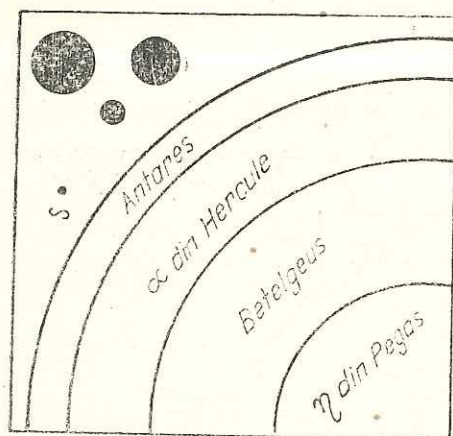


Fig. 94. Soarele comparat cu stelele uriașe. Cercurile albe din colțul de sus în ordine descrescândă reprezintă stelele Aldebaran, Arcturus și Capella. Soarele este indicat prin litera S.

— *densitatea stelei*, determinând caracteristicile fizice importante ale stelei, dar nu cu mare precizie.

Cînd nu putem obține spectrul unei stele, o indicație asupra acesteia ne dă *indicele de culoare* al stelei, care se obține din măsurări fotometrice, fiind diferența dintre magnitudinea fotografică aparentă și magnitudinea vizuală aparentă a stelei:

$$IC = m_{pg} - m_v.$$

Cu ajutorul stelelor variabile s-a putut pune în evidență mișcarea de rotație a stelelor. Stelele fierbinți au o viteză liniară ecuatorială de 250 km/s, în timp ce Soarele se rotește abia cu viteza liniară de 2 km/s.

Analiza spectrală arată că în stele se găsesc aceleași elemente chimice care sînt în Pămînt și în Soare, dovedind încă o dată unitatea materială a Universului.

Constituția stelelor. Cum am văzut la Soare, și în cazul stelelor distingem două părți:

— *Atmosfera stelară* este totalul materiei stelare de la care primim energie în mod direct. Oglinda ei este spectrul stelei, care ne informează asupra proprietăților acestei materii. De aici putem trage concluzia că, în stele și în Soare, atmosfera abundă în hidrogen, heliu, oxigen, carbon și alte elemente. Unele stele însă diferă printr-o abundență deosebită a azotului, carbonului sau zirconului.

Se vede că față de stelele supra-gigante ca Antares, avînd volumul de 60 de milioane de ori volumul Soarelui și piticele albe ca Sirius B (cu diametrul de 4 ori cel terestru), Soarele este o stea mijlocie a seriei principale (fig. 94).

Cunoscînd spectrul unei stele, diagrama spectru-luminanță ne dă:

— *magnitudinea absolută* a stelei;

— *paralaxa* (numită spectrală), deci distanța stelei, cunoscîndu-i magnitudinea aparentă;

— *raza stelei*, deci volumul;

— *masa stelei* (numai în seria principală) pe baza relației masă-luminanță;

— *Interiorul stelei* este restul materiei de la care nu primim direct radiații, dar prin radiațiile sale și efectul gravific creează condițiile existente în atmosfera stelei. Materia se află aici la temperaturi de milioane de grade și presiuni de miliarde de atmosfere, în stare gazoasă, formată din particulele componente ale edificiului atomic, care nu poate rezista condițiilor excepționale de aici. Domină hidrogenul, apoi într-o cantitate mai mică heliul, iar restul elementelor într-o proporție foarte mică, sub forma unor impurități în enorma masă de H și He.

Energia stelelor, ca și în cazul Soarelui, este furnizată de reacțiile termonucleare din interior. Hidrogenul se grupează în heliu, defectului de masă corespunzîndu-i o energie formidabilă, care este radiată. Această grupare se poate face pe căi diferite, după condițiile din interiorul stelei. Din acest punct de vedere distingem:

— *stele reci*, avînd o temperatură efectivă sub 6000 K, care își datorează energia lanțului proton-proton*;

— *stele fierbinți*, avînd o temperatură efectivă peste 6000 K, în care energia este furnizată de ciclul carbon-azot, prin intermediul carbonului.

Este de amintit că nu numai reacțiile hidrogenului sînt unicele furnizoare de energie stelară; după compoziția chimică și masa stelei sînt posibile și alte reacții (ale heliului, carbonului etc.), care prin fuziune formează elemente tot mai grele.

O altă sursă de energie stelară este *contractia gravifică* a materiei, care constă în reducerea volumului materiei respective și eliberarea de energie potențială gravitațională prin contracție. La unele corpuri foarte masive este posibil și *colapsul gravitațional*, unde datorită comprimării bruște se eliberează o cantitate neobișnuit de mare de energie (mult mai mare ca prin reacțiile termonucleare). În Soarele aflat la limita comună a acestor două categorii de stele predomină reacțiile proton-proton.

Mișcarea stelelor. Măsurînd coordonatele ecuatoriale α și δ ale unei stele și reluînd măsurarea după un interval mare de timp, — 20 de ani —, putem constata că steaua s-a deplasat pe sfera cerească. Această deplasare într-un an se numește *mișcare proprie a stelei*. Cunoscînd din analiza spectrală mișcarea stelei de-a lungul razei de lumină, din compunerea acestora două rezultă *mișcarea în spațiu a stelei*. Viteza spațială medie a stelelor este de 30 km/s, dar există și stele cu viteze de peste o sută de kilometri pe secundă.

Soarele, fiind o stea, are o mișcare în spațiu; împreună cu întregul său sistem de corpuri se îndreaptă cu o viteză de aproape 20 km/s spre punctul de pe sfera cerească, numit *apex*. El se află în constelația Hercules și are coordonatele:

$$\alpha = 270^\circ = 18^h; \delta = +30^\circ.$$

* În acest lanț, din fuziunea directă a protonilor rezultă nuclee de heliu, în timp ce în ciclul carbon-azot, fuziunea are loc la o temperatură mai înaltă, carbonul îndeplinind rolul de catalizator.

3. Stele duble și stele variabile

Nu toate stelele sînt la fel accesibile cercetărilor noastre. Există însă categorii de stele care, prin natura lor, se pot furniza o serie de date, pe care le extindem și asupra celorlalte stele. Acestea sînt stelele duble și stelele variabile.

1. *Stelele duble* sînt perechi de stele ale căror componente se află la distanță unghiulară foarte mică una de alta. La unele stele, direcțiile lor aparente aproape coincid, încît ne apar duble, deși distanța reală dintre ele este foarte mare. Acestea sînt *stele duble optice* și nu prezintă vreun interes deosebit. În alte cazuri putem detecta o mișcare orbitală a uneia în jurul celeilalte, deoarece, datorită apropierii mari a lor, se pune în evidență efectul gravitic reciproc; acestea sînt *stele duble fizice*. După modul în care punem în evidență mișcarea orbitală, avem trei categorii de stele duble fizice:

a) *Stelele duble vizuale* (binare vizuale) sînt stelele duble la care mișcarea orbitală este detectată prin măsurări micrometrice. Putem construi din observații orbita, de unde prin calcul — ca și în cazul planetelor — putem deduce elementele orbitei. Găsim semiaxa mare a'' , din care, cu ajutorul paralaxei π'' , deducem semiaxa A a orbitei în unități astronomice:

$$A = \frac{a''}{\pi''}.$$

Putem calcula și masa sistemului. Considerînd sistemul Soare-Pămînt (cu perioada T , masele M și m , semiaxa r), apoi sistemul de stele duble (cu perioada P , masele m_1 , m_2 , semiaxa A), conform legii a treia a lui Kepler avem:

$$\frac{T^2(M+m)}{r^3} = \frac{4\pi^2}{f} = \frac{P^2(m_1+m_2)}{A^3}.$$

Considerînd $M = m_{\odot} = 1$, $m = 0$, $r = 1$ U. A., obținem suma maselor stelelor:

$$m_1 + m_2 = \frac{A^3}{P^2} = \frac{a''^3}{\pi''^3 P^2}.$$

În 1850, din mișcarea stelei Sirius s-a dedus existența unei componente, care apoi a fost găsită cu luneta (fig. 95). Determinîndu-i-se masa și raza, s-a găsit că are densitatea $d = 170\,000$ g/cm³. A fost numită „pitică albă”. S-au găsit și alte stele pitice albe cu densități de ordinul tonelor/cm³.

b) *Stelele duble spectroscopice* sînt stelele duble a căror mișcare orbitală se determină pe cale spectroscopică. Componentele stelei duble fiind foarte apropiate, ele nu se pot vedea distinct, dar spectrele lor prezintă linii care se deplasează în sensuri contrare, punînd astfel în evidență apropierea și îndepărtarea față de observator a componentelor. Perioadele de revoluție sînt de cîteva zile.

c) *Stelele duble fotometrice* sînt stelele duble care, eclipsîndu-se reciproc, deoarece planul orbitei lor conține practic raza vizuală, produc o variație periodică a strălucirii sistemului. Acestea se mai numesc și *variabile cu eclipsă*, deoarece strălucirea variază cu timpul. Astfel de stele sînt β Persei (Algol), β Lyrae și altele. Reprezentînd grafic variația strălucirii cu timpul, obținem *curba de lumină* a stelei (fig. 96). Din studiul ei se pot deduce elementele orbitei, razele, densitățile și masele componentelor.

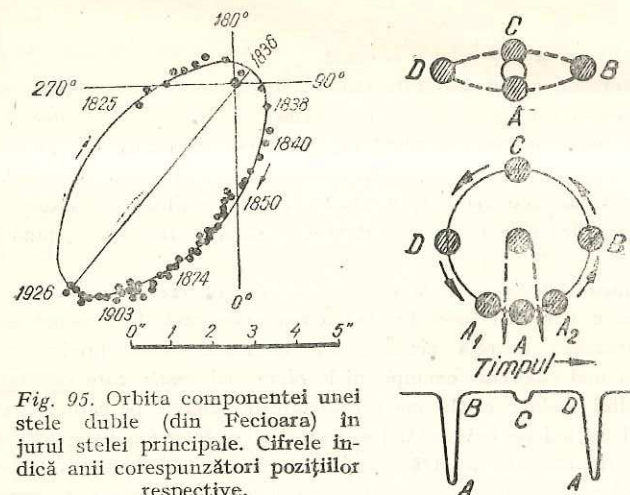


Fig. 95. Orbita componente unei stele duble (din Fecioara) în jurul stelei principale. Cifrele indică anii corespunzători pozițiilor respective.

Fig. 96. Sistemul stelei duble fotometrice β Persei (Algol) și curba ei de lumină.

2. *Stele variabile fizice* sînt stelele a căror strălucire variază cu timpul datorită proceselor din interiorul lor. Ele se împart în două mari categorii:

— *pulsante*, stelele a căror strălucire variază periodic datorită dilatării și contractării consecutive a masei stelei pe baza dezvoltării de energie în interiorul ei. Din acestea fac parte: *cefeidele*, cu perioada pînă la 90 de zile, și *stelele Mira*, cu perioada mai mare de 90 de zile. Stelele cefeide se numesc „indicatoarele de distanță” ale Universului, deoarece există o strînsă legătură între perioada și luminozitatea absolută a stelei, de unde se poate deduce aceasta din urmă. Cunoscînd magnitudinea aparentă din observație, putem determina paralaxa, deci distanța la stea. Stelele cefeide, fiind foarte luminoase, sînt ușor observabile la distanțe mari, în roiuri stelare. Astfel s-a stabilit că există o relație precisă între perioada variației de strălucire și magnitudinea aparentă medie a stelei. Ori datorită distanței mari a roiului față de observator, putem considera stelele lui ca fiind aproximativ la aceeași distanță.

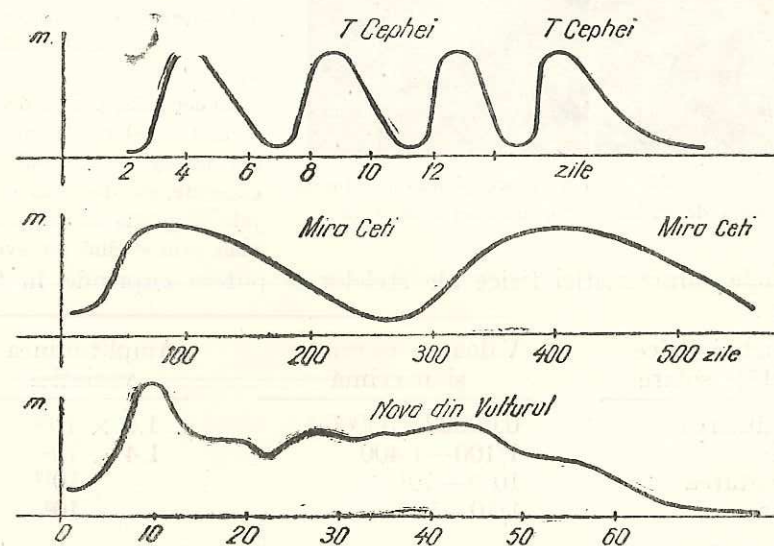


Fig. 97. Curbe de lumină ale diferitelor stele variabile.

Deci:

$$M - m = 5 + 5 \log \pi = \text{const.}$$

Cu ajutorul citorva cefeide apropiate, avind măsurate paralaxele pe cale trigonometrică, s-a putut stabili magnitudinea absolută corespunzătoare unei perioade date.

Măsurind fotometric atît magnitudinea aparentă medie m , cit şi perioada P , cu ajutorul relaţiei perioadă-magnitudine absolută determinăm pe aceasta din urmă, de unde paralaxa zisă fotometrică şi distanţa. Metoda se aplică la toate îngrămădirile de materie în care se pot observa cefeide. Se aplică deci la roiurile stelare şi galaxiile învecinate, pînă la 2 milioane de ani lumină.

— *eruptive*, a căror strălucire, după o lungă perioadă de linişte, creşte brusc cu mai multe magnitudini stelare, pentru a reveni încet la strălucirea anterioară. Fenomenul este cauzat de o explozie care eliberează energia acumulată în interiorul stelei, producind o mare creştere a strălucirii. Celei mai elocvente exemple ni le oferă aici *novele*, care în cîteva ore cresc cu 10—12 magnitudini stelare şi elimină o cantitate de energie pe care Soarele o poate furniza abia în 10 000 de ani de existenţă. La aceeaşi stea, fenomenul de novă se poate repeta de mai multe ori. În Galaxia noastră erup anual pînă la 200 de nove. *Super-novele* sînt explozii formidabile, care au loc o dată la sute de ani. În cîteva ore, strălucirea stelei creşte cu 20 de magnitudini stelare şi se emite o energie cit a tuturor stelelor din Galaxie, după care steaua devine o stea neutronică sau o stea colapsată (gaură neagră). Probabil că fenomenul de novă are loc cînd se schimbă reacţia termonucleară din interiorul stelei (fig. 97 şi 98).

Studiul stelelor variabile este important, deoarece, scurtînd scara lungă a timpului ne prezintă stări de evoluţie a materiei. Probabil, fiecare stea trece printr-o fază de varia-

bilă, apoi printr-o fază staţionară de stea din seria principală, aşa cum este Soarele nostru, pînă cînd reacţiile termonucleare o transformă într-o stea uriaşă, pe care explozii repetate şi mari pierderi de masă o trec în stadiul de pitică albă (cu masa de cel mult 1,4 mase solare) şi, după epuizarea energiei, în stadiul de pitică neagră.

În concluzie putem deduce din studiul stelelor că sînt compuse din aceeaşi materie, din aceleaşi elemente, ele deosebindu-se puţin prin proporţia elementelor şi mai mult prin stadiul lor evolutiv.

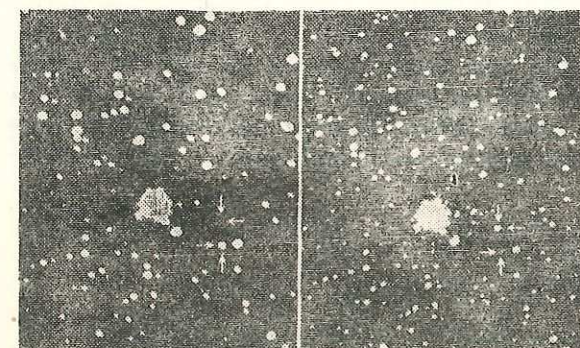


Fig. 98. Stelele variabile R şi S din Scorpion la maximum şi minimum de strălucire (la intersecţia săgeţilor).

Principalele caracteristici fizice ale stelelor le putem cuprinde în tabloul următor:

Caracteristici fizice în unităţi solare	Valoarea minimă şi maximă	Amplitudinea variaţiei
Strălucirea	0,00022—330000	$1,5 \times 10^{10}$
Raza	1/100—1 400	$1,4 \times 10^5$
Densitatea	10^{-6} — 10^7	10^{13}
Masa	1/10—100	10^3

Rezultă de aici că masele stelare sînt aproximativ aceleaşi, în timp ce celelalte caracteristici fizice variază de sute de mii şi milioane de ori. Astfel-

pe de o parte avem steaua Antares, a cărei densitate este a milioanea parte din aceea a Soarelui (adică are densitatea de 100 ori mai mică decît aceea a atmosferei terestre), iar steaua van Maanen are densitatea de 300 000 ori mai mare decît a Soarelui, în timp ce masele lor sînt aproape aceleaşi. Masele mai mici formează corpuri obscure.

Materia în veşnică transformare, în condiţii date, formează stele care alimentate de reacţiile termonucleare, radiază energie timp de mai multe miliarde de ani, pînă la completa lor epuizare.

Exerciţii

1. De cîte ori sînt mai strălucitoare stelele de magnitudinea 1 decît cele de magnitudinea 10, care se află la limita vizibilităţii unui telescop şcolar?

2. De cîte ori creşte strălucirea unei nove a cărei magnitudine scade cu 12^m?

3. De cîte ori este mai slabă strălucirea Lunii pline decît a Soarelui, ştiînd că magnitudinea absolută a

Lunii este -12,5, iar a Soarelui -26,7?

4. Să se calculeze magnitudinea absolută a stelei Sirius, ştiînd că are paralaxa egală cu 0'',371, iar magnitudinea aparentă -1,58.

5. Cunoscînd magnitudinea absolută bolometrică + 6^m,0 şi temperatura efectivă a stelei σ Draconis ca fiind 5 000 °C, să se afle raza ei liniară.

SISTEME STELARE

Scrutînd cerul cu ajutorul unei lunete, în afară de stele și planete observăm :

- stele grupate în număr foarte mare, formînd îngrămădiri sau *roiuri stelare*;
- nori luminoși de formă neregulată, numiți *nebuloase*;
- o fișie luminoasă numită *Calea Lactee*, care împarte cerul vizibil în două regiuni. Se vede ușor că numărul stelelor pe unitatea de suprafață crește pe măsură ce ne îndepărtăm de Calea Lactee.
- mici pete de formă alungită regulată, numite *nebuloase extragalactice* (sau *galaxii*).

Vom cerceta în parte fiecare din aceste categorii de obiecte.

1. Roiuri stelare

Privite cu ochiul liber, ele apar ca pete mici difuze, puțin strălucitoare; în câmpul lunetei apare un număr mare de stele. Spectrul unui roi stelar este analog cu acela al stelelor: spectru continuu cu linii de absorbție. Stelele alcătuind roiul sînt legate fizic: ele s-au format în aceeași regiune a spațiului, cam în același timp și diferă între ele numai prin masele lor.

Roiurile stelare sînt de două categorii: deschise și globulare.

Roiurile deschise sînt sărace în stele; cîteva zeci sau cel mult sute. Au o formă neregulată, fără o condensare centrală, de unde numele lor de roiuri deschise. Diametrul lor este de cîteva parseci, iar depărtările lor sînt cuprinse între cîteva zeci și cîteva mii de parseci. Ele sînt concentrate în apropierea Căii Lactee, de aici și numele lor actual de *roiuri galactice*. Cunoaștem azi vreo 500 de roiuri galactice. Cele mai cunoscute sînt Pleiadele (Cloșca cu pui), formate din circa 350 de stele aflate la 400 de ani lumină (fig. 99). Stelele din Ursa Mare fac parte dintr-un *roi deschis mobil*, deoarece se mișcă pe traiectorii paralele cu viteze egale.

Roiurile globulare conțin zeci sau sute de mii de stele, cu o concentrare totală atît de pronunțată, încît centrul lor în câmpul lunetei nu se rezolvă în stele (fig. 100). Au formă sferică și diametrele lor sînt cuprinse

între 40 și 100 de parseci, iar distanțele lor între 6 000 și 20 000 de parseci se determină cu ajutorul cefeidelor pe care le conțin. Aceste roiuri formează un sistem sferic al cărui centru aproape coincide cu centrul Galaxiei, avînd o rază de aproximativ 15 kiloparseci, conținînd aproximativ 100 de roiuri globulare. Ele delimitează Galaxia. Cel mai cunoscut roi globular este roiul M 13 aflat în constelația Hercule, la distanța de 34 000 de ani-lumină. În partea ei rezolubilă au putut fi numărate 40 000 de stele. Prof. C. Pîrvulescu

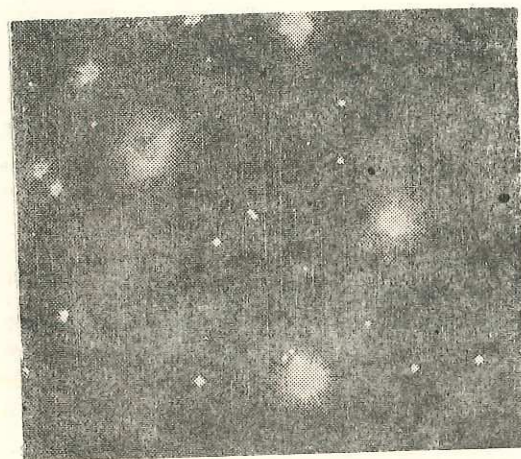


Fig. 99. Roiul deschis Pleiadele (Cloșca cu pui).

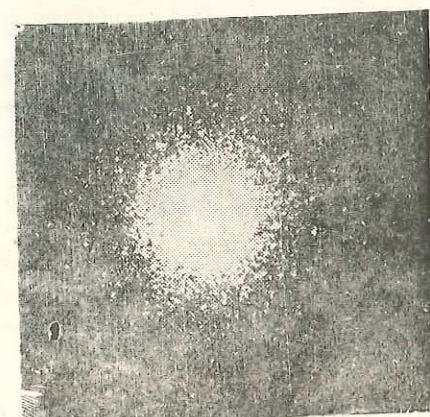


Fig. 100. Roiul globular M 13 din constelația Hercule.

vulescu* a studiat roiurile globulare. Roiurile globulare nu sînt specifice Galaxiei noastre, ele fiind observate și în alte galaxii. Astfel, în Galaxia M 31 din Andromeda au fost observate peste 70 de roiuri.

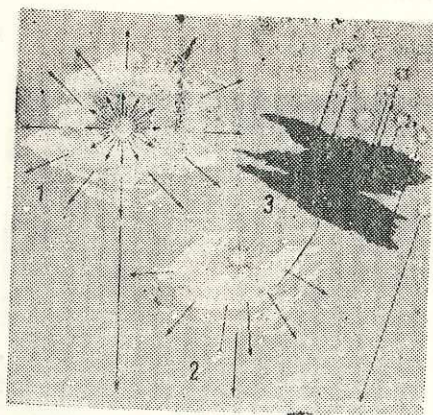
În afara roiurilor stelare, mai putem aminti *asociațiile de stele*. În opoziție cu roiurile, acestea sînt grupe de stele foarte întinse, cu o mică densitate spațială, formate din stele care diverg din aceeași regiune. Ele conțin stele foarte tinere (de milioane de ani), strălucitoare, de tipul spectral O și B, înconjurînd adesea un roi stelar deschis.

2. Nebuloasele și materia interstelară

Se numește *materie interstelară* materia care umple tot spațiul dintre stele. Este formată din gaze, pulberi și bucăți solide de diferite dimensiuni (*materie meteorică*). Materia difuză (gaze și praf) este foarte neuniform răspîdită, cu densități foarte diferite, dar în general mici. Ea se manifestă diferit după densitatea ei și apropierea de surse de energie. Dacă materia

* C. Pîrvulescu (1890—1945), profesor de astronomie la Universitatea din Cernăuți și Cluj, a adus contribuții însemnate în studiul roiurilor globulare și în cosmogonie.

interstelară este mai densă, stelele fierbinți din apropiere excită gazele, care redau lumina prin fluorescență, iar particulele de praf reflectă lumina stelelor. Rezultă că această materie se iluminează, apărând ca un nor difuz și neregulat, numit *nebuloasă difuză* (fig. 101). Astfel este marea nebuloasă din Orion. Sînt cunoscute azi mai mult de 300 de nebuloase difuze. Spectrul lor constă dintr-un spectru continuu peste care se suprapun linii strălucitoare de emisie și lumină difuză.



Unele din aceste nebuloase, ca nebuloasa Crabul, sînt radiosurse puternice (fig. 102). Alte nebuloase apar sub forma unor mici discuri cu aspect planetar, numite din acest motiv *nebuloase*

Fig. 101. Nebuloase difuze și obscure; materia interstelară densă în stare gazoasă (1) sau pulberi (2) este iluminată de stelele din apropiere, devenind nebuloasă difuză, iar în lipsa surselor apropiate absoarbe, devenind nebuloasă obscură (3).

planetare. Se cunosc azi 288 de nebuloase planetare. Ele sînt la distanțe mari de Soare, putînd ajunge pînă la 10 000 de parseci. Adesea ele apar ca un inel avînd în centru o stea fierbinte, a cărei lumină este difuzată de inelul gazos. Așa este nebuloasa inelară din Lyra (fig. 103).

Dacă perdeaua de materie interstelară este departe de sursa de energie, ea nu primește energie suficientă pentru a fi excitată. În acest caz, lumina stelelor este complet absorbită și pe cer apare o porțiune complet lipsită de stele, corespunzătoare unei *nebuloase obscure* (fig. 104).

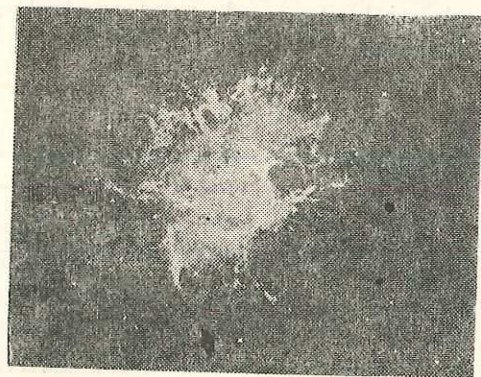


Fig. 102. Nebuloasa Crabul, nebuloasă difuză și radiosursă puternică.

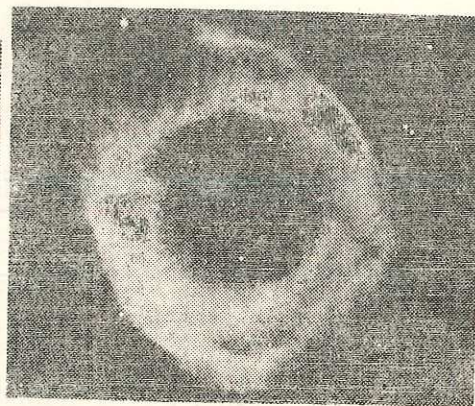


Fig. 103. Nebuloasa inelară din Lyra.

În regiuni vecine Căii Lactee nu pot fi detectate galaxii, fiind invizibile, datorită abundenței materiei interstelare în planul ecuatorial al Galaxiei noastre, formînd un brîu cu grosimea de o mie de ani lumină. Acest fapt este confirmat și de fotografiile unor galaxii.

Dacă densitatea materiei interstelare este mai mică, ea absoarbe doar parțial lumina stelelor, producînd o slăbire a acestora; astfel în planul ecuatorial al galaxiei o traiectorie de 3 800 de ani lumină reduce la jumătate intensitatea luminii unei surse. Din acest motiv nu vedem stelele aflate în a doua jumătate (opusă nouă) a galaxiei.

Praful interstelar produce o înroșire a tuturor stelelor din zona respectivă, iar gazele produc anumite linii de absorbție (*liniile staționare*), după natura și abundența elementelor chimice care le compun.

Din studiul absorbției exercitate de materia interstelară putem deduce densitatea, mărimea particulelor componente, compoziția chimică a acestei materii.

Densitatea medie a materiei este de 2×10^{-24} g/cm³ (de un milion de ori mai mică decît a vidului realizat în laboratoare), adică într-un volum ca al Pămîntului am avea o masă egală cu 2 000 kg. Aceasta revine la 1 atom/cm³, în timp ce există 30×10^{-18} atomi/cm³ în aerul pe care-l respirăm.

Materia interstelară reprezintă o treime din masa întregii galaxii, masa gazelor fiind de 100 de ori mai mare decît aceea a pulberilor.

În ultimele decenii, prin identificarea radioliniilor emise de nebuloase (de exemplu cea din Orion), s-au pus în evidență molecule complexe și chiar molecule organice. Astfel în 1963 s-a descoperit hidroxidul (OH), în 1968 amoniacul (NH₃), ulterior formaldehida (H₂CO) și molecule mai complexe, printre care și organice. În prezent se cunosc peste 50 de tipuri de molecule ale mediului interstelar.

Există o strînsă legătură între materia organizată (stele și roiuri de stele) și materia neorganizată. S-a observat că în majoritatea asociațiilor stelare există nebuloase difuze cu mase uriașe. Stelele fierbinți încălzesc materia nebulară din jurul lor, care ca și o rachetă pierde mase de gaz pe partea încălzită și pe baza forței reactive acestea împing materia nebulară spre exterior, cu viteză crescîndă. Din masele gazoase în expansiune prin condensare rezultă coroana de stele cu viteze mari, care formează o asociație stelară.

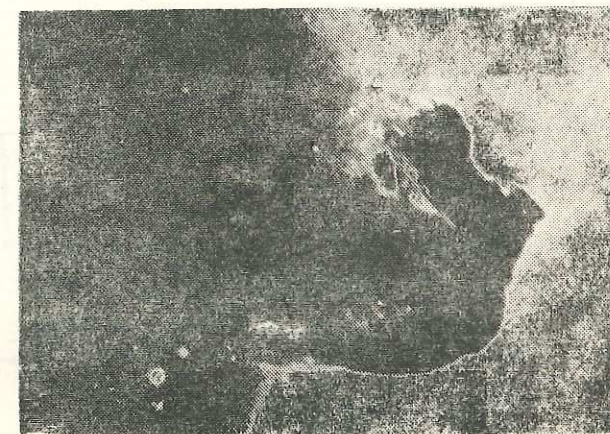


Fig. 104. Fotografia unei porțiuni din nebuloasa difuză din Orion cu nebuloasa obscură „Cap de cal”.

Se poate da un exemplu elocvent: marea nebuloasă din Orion este în centrul unei asociații, avînd în mijloc 34 de stele de tip O (fierbinți). Considerînd două stele cu mare viteză, și anume AE din Vizitiul și μ din Porumbelul, diametral opuse în raport cu nebuloasa, să prelungim înapoi traiectoriile lor. Se constată că ele se întîlnesc în nebuloasa din Orion,

unde s-au găsit ambele în urmă cu 2,6—2,7 milioane de ani. Se pare că aceste stele au o origine comună în nebuloasa din Orion. Deci nebuloasele par a fi locurile de formare a stelelor. În schimb, corpurile cerești după ce își cheltuiesc energia lor se descompun, alimentând materia interstelară.

3. Calea Lactee, Galaxia

Calea Lactee este fișia alburie care înconjură cerul nostru după un cerc mare, formînd un unghi de 62° cu ecuatorul ceresc. Așa cum a observat Galilei, ea se compune dintr-un număr imens de stele slabe, care dau lumina difuză a Căii Lactee. Herschel a constatat că numărul stelelor descrește pe măsură ce ne îndepărtăm de planul median al Căii Lactee, numit *ecuator galactic*. De aici a tras concluzia că toate stelele formează un uriaș disc de stele turtit la poli. Acest sistem uriaș care cuprinde toate stelele, sistemele stelare, materia interstelară și razele cosmice se numește *galaxie*. Într-adevăr, sistemul fiind foarte turtit, cînd privim în direcții aflate în planul ecuatorului galactic, deci de-a lungul razelor mari, mai multe stele se proiectează pe sfera cerească, dînd impresia fișiei denumită *Calea Lactee*. Pe măsură ce raza vizuală se îndepărtează de ecuatorul galaxiei, razele galaxiei devin tot mai mici, deci un număr tot mai mic de stele sînt proiectate pe sfera cerească.

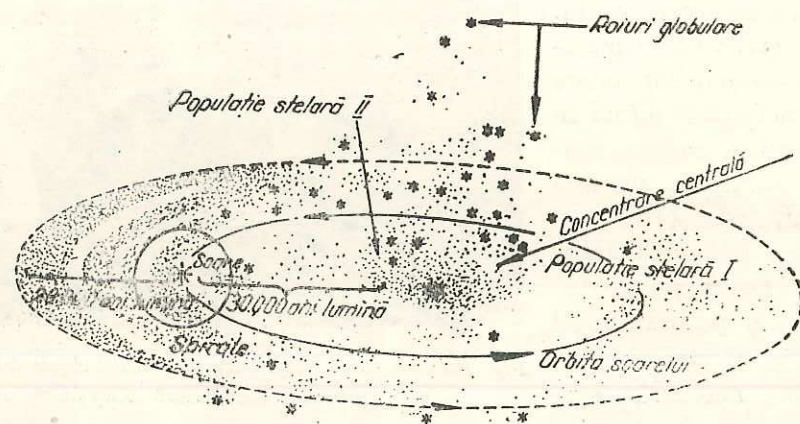
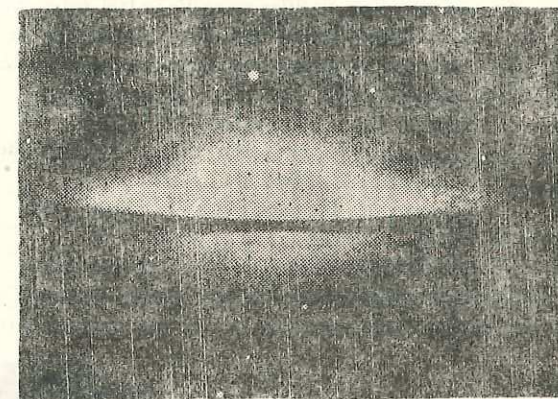


Fig. 105. Galaxia noastră: în ramurile spirale populația I, iar în centru populația II.

Forma galaxiei se datorește rotației sale; axa sa de rotație taie planul ecuatorului galactic în *centrul galaxiei*.

Mișcarea de rotație a galaxiei menține echilibrul ei; sub acțiunea nucleului central, stelele ar cădea în el, dar viteza mare de rotație le păstrează locul pe traiectoria lor. Rezultă că galaxia nu se rotește în bloc, ci diferențial, avînd viteze mai mari spre centru, pentru a contracara atracția mai mare. Există stele a căror viteză depășind viteza critică impusă de masa galaxiei evadează în spațiul intergalactic. În vecinătatea Soarelui, viteza de rotație este de 250 km/s, deci rotația completă a galaxiei se face în aproximativ 200 de milioane de ani.

Fig. 106. Fotografia unei galaxii în secțiune meridiană. Dunga neagră reprezintă materie absorbantă, abundentă în planul galactic.



Cum s-a arătat mai sus, galaxia are forma unui disc foarte turtit (fig. 105), avînd diametrul de circa 100 000 de ani lumină și grosimea maximă de 16 000 de ani lumină.

Diferitele tipuri de stele sînt distribuite în mod diferit, formînd trei feluri de subsisteme:

- *subsisteme plane*, concentrate spre planul ecuatorului galaxiei (fig. 106). Ele cuprind stele gigante fierbinți, stele variabile cefeide lung-periodice, roiuri stelare deschise, nebuloase difuze și materie interstelară în mari cantități (așa cum ne-o dovedesc fotografiile altor galaxii);
- *subsisteme sferice*, concentrate spre centrul galaxiei. Ele conțin stele subpitice, cefeide scurt-periodice și roiuri globulare;
- *subsistemele intermediare*, formate din stele variabile lung-periodice și nebuloase planetare, au forme intermediare celor precedente.

Aceste subsisteme se întrepătrund și formează un nucleu elipsoidal, din care se preungesc câteva brațe spirale. Nucleul este înconjurat de stelele sistemelor sferice și de roiurile globulare. Soarele aflat între două ramuri spirale este un locatar periferic al galaxiei așezat la circa 30 000 de ani lumină de centrul Galaxiei, care de la noi se vede în direcția Constelației Săgetătorului, dar ascuns vederii noastre de norii de materie neorganizată care-l împrejmuiesc.

Masa galaxiei evaluată dinamic este de circa 150 de miliarde mase solare.

4. Galaxii și roiuri de galaxii

Pe cer se mai observă mici pete de formă eliptică, care sînt formații extragalactice (nebuloase extragalactice). După cum s-a dovedit, ele sînt sisteme stelare analoge Galaxiei noastre, de unde și denumirea de galaxii

Cele mai apropiate de noi sînt două galaxii de formă neregulată, numite Norii lui Magellan, aflate la 140 000—160 000 de ani lumină (fig. 107). Galaxia din Andromeda, notată M 31 (fig. 108), este o galaxie spirală analogă Galaxiei noastre, aflată la 2 milioane de ani lumină de noi. Au fost găsite miliarde de galaxii pînă la distanța de 5 miliarde de ani lumină, pînă unde merge puterea de pătrundere a actualelor instrumente astronomice. Între galaxii se află *materia extragalactică*, extrem de rarefiată.

În general putem clasifica galaxiile în trei categorii: spirale, eliptice și neregulate. Galaxia noastră este o uriașă galaxie spirală, avînd un nucleu și 3 brațe spirale.

S-a observat că în galaxiile eliptice, ca și în roiurile globulare, cele mai strălucitoare stele sînt gigantele roșii, lipsind stelele supragigante albastre și pulbera cosmică aflate în jurul Soarelui. De aici rezultă împărțirea populației galaxiilor în:

- populația I, formată din nebuloase, stele fierbinți de tipul O, B și supragigante, care alcătuiesc brațele spirale ale galaxiilor;
- populația II, formată din stele gigante roșii, care compun nucleeele galaxiilor, stele de mari viteze, subpitice, roiurile stelare etc.

Trecînd de la galaxiile neregulate la cele spirale, apoi la cele eliptice, populația I, mai abundentă în primele, scade la cele spirale (rămînînd doar în brațele acestora) și în special la cele eliptice, unde populația II este cea dominantă (poate singura prezentă).



Fig. 107. Marele Nor al lui Magellan, vecinul galaxiei noastre.

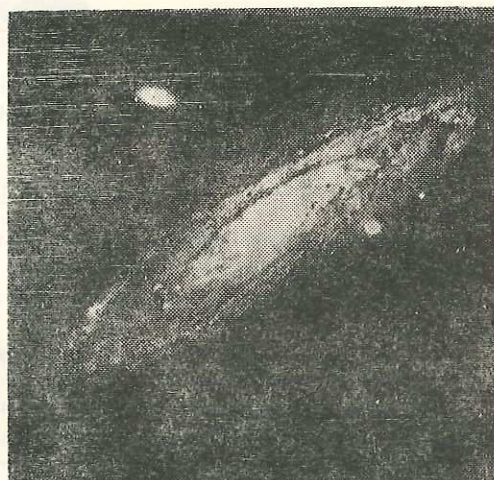


Fig. 108. Nebuloasa M 31 din Andromeda, galaxia soră a galaxiei noastre.

Se pare că acesta este sensul de evoluție al galaxiilor.

Distanțele galaxiilor se pot determina cu ajutorul cefeidelor și stelelor gigante pe care le conțin. Dar majoritatea galaxiilor sînt atît de departe, încît nu putem distinge nici un detaliu în structura lor. În acest caz, se compară mărimea aparentă totală a galaxiei cu aceea a galaxiilor apropiate de același tip, ajungîndu-se astfel pînă la sute de milioane de ani lumină.

Hubble și Humason au constatat din observații că liniile spectrale ale galaxiilor sînt puternic deplasate spre roșu. Mai mult, viteza radială V_R dedusă din formula efectului Doppler este proporțională cu distanța D a galaxiei:

$$V_R = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = H \times D,$$

unde H este constanta lui Hubble. De aici se poate deduce distanța D . Pentru $V_R = 110\,000$ km/s, măsurată pentru o galaxie din Boarul, s-a dedus o distanță de aproximativ 5 miliarde de ani lumină. Pînă în prezent, cea mai mare V_R observată este de 82% din viteza luminii, distanța corpului respectiv (un quasar) fiind de ordinul a 8—10 miliarde de ani lumină.

Galaxiile, la rîndul lor, formează *grupuri de galaxii* (pînă la 20 de galaxii) și *roiuri de galaxii* (cu sute sau mii de membri). Galaxia noastră cu încă 19 galaxii formează *grupul local*, care face parte din uriașul roi de galaxii din Fecioara (cu vreo 3 000 de membri) (fig. 109).

S-a arătat că roiurile de galaxii au în general tendința de a forma la rîndul lor îngrămădiri de ordin superior (roiuri de roiuri de galaxii).

Totalitatea materiei accesibilă actualelor instrumente astronomice se numește *Metagalaxie*. Pe cale optică s-a determinat în prezent raza de 5 miliarde de ani lumină, iar pe calea undelor radio — raza de 10 miliarde de ani lumină. Dimensiunile ei vor crește odată cu puterea de pătrundere a instrumentelor astronomice. Dar, oricare ar fi dezvoltarea ulterioară a mij-



Fig. 109. O parte dintr-un roi de galaxii: imaginile eliptice reprezintă galaxii.

Fig. 110. Deplasarea liniilor spectrale spre roșu interpretată ca o dilatare a Metagalaxiei. Săgeata pe spectrogramele din dreapta indică mărimea deplasării.

loacelor de observație utilizate de om. Metagalaxia va rămîne un modest colțișor al Universului, infinit în timp și spațiu. Acest adevăr rezultă și din constatarea că numărul galaxiilor crește spre marginile de azi ale Metagalaxiei.

Un alt fenomen rezultînd din observații este *fuga galaxiilor*.

În baza efectului Doppler, deplasarea liniilor spectrale corespunde unei îndepărtări continue a galaxiilor (fig. 110).

Radiosursele

Începînd din anul 1947 au fost descoperite peste o mie de radiosurse, care s-a căutat să fie identificate cu obiecte vizibile optice. S-a reușit această identificare la 80% din radiosurse.

De aici rezultă existența a două categorii de radiosurse:

- galactice, provenind, în general din resturi de supernove.
- extragalactice, care în general sînt galaxii eliptice gigante, cu puternice emisiuni radio, sau quasari.

Un exemplu de radiosursă galactică este nebuloasa Crabul, rezultată în urma exploziei supernovei din 1054. Ea conține un pulsar (stea neutronică) cu perioada de rotație de 0,033 s. Pulsarii sînt stele neutronice în rotație rapidă care emit impulsuri radio scurte, foarte regulate. Sînt descoperiți începînd din 1967. Quasarii au fost descoperiți începînd cu 1963. Denumirea lor provine de la quasi-stellar radio source (radiosursă cvasistelară). Natura lor nu este complet lămurită. Ei emit intens atât în domeniul optic, cit și în domeniul radiol

S-a mai constatat la quasari o puternică deplasare spre roșu, explicabilă prin efectul Doppler, de unde rezultă că ele sînt obiecte îndepărtate.

Este probabil că radiosursele sînt o fază în evoluția galaxiilor.

„Expansiunea” Metagalaxiei este unul din cele mai importante fenomene astronomice, constituind o fază în evoluția materiei în colțul de Univers observabil de pe Pămînt. Nu se știe dacă poate fi extinsă la întregul Univers.

Un argument în sprijinul ipotezei expansiunii l-a constituit descoperirea în 1965 a radiației cosmice de microunde de 2,7 K. Se consideră că ea provine de la marea explozie (Big Bang) ce a dus la formarea Metagalaxiei.

CAPITOLUL XII

ORIGINEA ȘI EVOLUȚIA CORPURILOR CEREȘTI

Originea Pămîntului și a corpurilor cerești a constituit o problemă din cele mai vechi timpuri. Fiind convins de imuabilitatea, de veșnicia lor în formă, iar problema originii lor depășind puterile sale, omul a recurs la explicații mistice.

Mai tîrziu, odată cu dezvoltarea cunoștințelor sale, omul s-a covîns de evoluția corpurilor cerești și a căutat teorii care să explice toate fenomenele din trecut, prezent și viitor. Acestea s-au numit *ipoteze cosmogonice*.

Azi, experiența și practica au convins omul că materia veșnică nu poate fi nici creată, nici distrusă, ci numai transformată. La fel și energia își schimbă doar formele. Legea conservării materiei și legea conservării energiei impun materiei forme și manifestări diferite. Prin teoria cosmogonică azi explicăm apariția și evoluția corpurilor cerești, ca și a fenomenelor care le însoțesc. Cînd o ipoteză este depășită, o nouă ipoteză, clădită pe cunoștințe mai largi, îi ia locul.

În cele ce urmează vom prezenta cîteva idei asupra originii sistemului nostru solar și asupra evoluției stelelor.

1. Originea sistemelor planetare

Este sistemul nostru planetar o îngrămădire întîmplătoare de diferite corpuri cerești sau există legi care indică o origine comună pentru întregul sistem solar? Legile existente în sistemul solar arată că acesta s-a format pe baza unui proces evolutiv. Cîteva din aceste legi sînt:

- planetele și sateliții lor (în majoritate) au același sens de rotație ca și corpul central;
- excentricitatea orbitelor planetelor mari este foarte mică;
- planele orbitelor sînt foarte puțin înclinate pe ecliptică;
- distanțele la Soare se conformează legii lui Titius-Bode.

De aici o serie de teorii cosmogonice, din care vom expune cîteva mai importante.

Filozoful german Kant, în 1755, a susținut că inițial a existat un haos, în care, pe baza forțelor de atracție și repulsie, au apărut centre de condensare și s-au format planetele, care, pe baza forței centrifuge, s-au îndepărtat de Soare. Herschel în mod analog admite formarea stelelor în nebuloasele galactice.

Matematicianul francez Laplace, după patru decenii (1796), expune teoria sa similară, dar mai completă. Susține că la început a existat un soare uriaș cu diametrul pînă la orbita lui Jupiter, fierbinte și avînd o rotație lentă. El fiind izolat, momentul său cinetic trebuie să se conserve, adică:

$$I\omega = \text{const},$$

unde I este momentul de inerție al Soarelui inițial, iar ω viteza unghiulară de rotație.

Soarele inițial sau nebuloasa aplatizîndu-se, momentul de inerție s-a micșorat iar viteza unghiulară a crescut. Din regiunea ecuatorială s-au desprins inele de materie, care, rupîndu-se au dus la formarea planetelor. Astfel se explică sensul unic de rotație al planetelor.

Teoria lui Laplace nu explică micarea retrogradă a unor sateliți. Dar o altă obiecție este mai gravă: în baza masei sale uriașe, momentul Soarelui ar trebui să fie de 29 de ori suma momentelor planetelor. Or, planetele au 98% din momentul sistemului.

Astronomul englez Jeans explică momentul prea mare al planetelor prin intervenția unei forțe exterioare: o stea a trecut prin apropierea Soarelui și a smuls din Soare printr-o maree puternică o parte din materia sa, care, rotindu-se în jurul Soarelui, s-a stratificat și a format planetele. O atît de mare apropiere a două stele fiind aproape imposibilă (posibilă o dată în 10^{17} ani), ar rezulta că sistemul nostru solar constituie o excepție în Univers.

Dar în ultimele decenii au fost descoperite și alte sisteme planetare. Lîngă stele apropiate (61 Lebedă, 70 Ophiuchi, 1244 Cincinnatti), pe baza perturbațiilor observate s-au descoperit mase obscure de mărimea lui Jupiter, deci sisteme planetare. În jurul Soarelui, într-o sferă cu raza de 16 ani lumină, există 32 de stele, dintre care 4 au sisteme planetare. Deci sistemele solare nu pot fi excepții în Univers.

Savantul sovietic O. I. Schmidt (1944) consideră că în mișcarea sa galactică Soarele, trecînd prin planul Galaxiei (unde există mari nori de materie neorganizată), a întîlnit un nor de materie pe care l-a captat. Sub acțiunea Soarelui, materia norului a fost înglobată parte în Soare, iar parte s-a condensat, formînd planetele și sateliții lor cu același sens de mișcare. Momentul mare al planetelor se explică prin momentul norului de materie. Deci Pămîntul s-a format din particule reci, care s-au încălzit mai tîrziu pe baza emisiunilor radioactive în interiorul Pămîntului. Acestei teorii i se poate obiecta fenomenul puțin probabil al captării.

Astronomul sovietic V. G. Fesenkov (1946) admite existența unei nebuloase foarte turtite din cauza mișcării sale de rotație. Condensîndu-se, cresc viteza sa unghiulară și temperatura sa. La un moment dat, viteza unghiulară fiind prea mare, o protuberanță uriașă apare și se separă de corpul nebuloasei, care continuă să se încălzească pînă ce în centrul ei apar reacțiile termonucleare și devine sursă de energie, deci un soare. Pe partea dinspre Soare protuberanța este încălzită; elementele ușoare de aici sînt evaporate și împinse mai departe și aici se formează din elementele mai grele rămase planetele terestre. În partea din spate a protuberanței, unde nu ajung razele solare, se formează planetele gigante, mai mult din elemente ușoare, avînd o compoziție similară cu Soarele. Avînd temperaturi relativ mici, planetele își păstrează masele lor inițiale, în timp ce Soarele își micșorează mereu masa prin radiația sa corpusculară continuă. Pînă în prezent, masa lui s-ar fi redus la o zecime, fapt care a dus la micșorarea considerabilă a momentului său cinetic. După Fesenkov, pe măsura micșorării masei solare se reduce debitul său de energie. Cînd elementul care alimentează reacția termonucleară se epuizează, sistemul solar se dilată și se destramă, alimentînd materia interstelară din care s-a format.

2. Evoluția stelelor

Problema evoluției stelelor este în prezent dificilă, dar oarecare linii generale de evoluție pot fi luate în considerare.

Două mari descoperiri stau la temelia evoluției stelare, și anume:

— stelele radiază energie pe baza transformării hidrogenului în heliu. Acest fenomen fiind ireversibil, rezultă evoluția stelei într-o direcție determinată;

— într-o galaxie există două clase distincte de stele: în centru sînt stelele cele mai vechi (de circa 10 miliarde de ani), constituind populația II; în ramurile spirale sînt stelele tinere și nori de hidrogen, formînd populația I.

În ramurile spirale au fost observate globule obscure cu diametrul de 1 an lumină, cu masa egală cu a Soarelui. Probabil sînt stele în curs de formare, *protostele* (fig. 111).

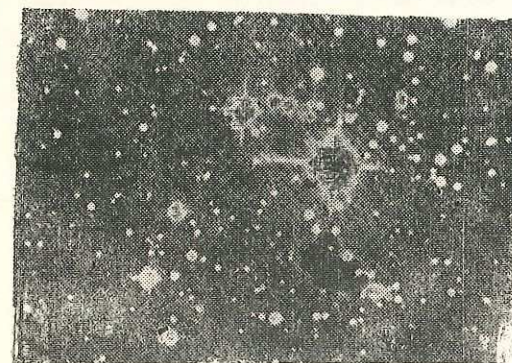


Fig. 111. Formarea stelelor: apariția regiunilor sferice obscure în nebuloasa difuză din Centaurul.

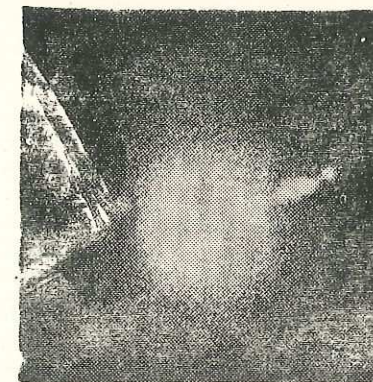


Fig. 112. Formarea galaxiilor: din centrul unei galaxii mari se pare că sînt emise galaxii mai mici.

Un nor oarecare de materie din brațele galaxiei se condensează în jurul mai multor centre sub acțiunea gravitației masei proprii și a presiunii radiative a stelelor din jur. Rezultă ruperea norului în mai multe globule. Pe măsura condensării crește temperatura globulei, care începe să radieze întîi în domeniul infraroșu, iar mai tîrziu în partea vizibilă a spectrului. Apoi încep reacțiile termonucleare, întîi reacția proton-proton, iar cînd temperatura este de mai multe milioane de grade, ciclul carbon-azot. În acest stadiu, în stea se realizează un echilibru între forțele gravifice și forțele de expansiune ale gazelor din centru. Echilibrul lor determină și dimensiunile stelei; dacă gravitatea predomină, steaua se contractă și își mărește temperatura, care face să crească presiunea gazelor în interior pînă ce condensarea se oprește. Dacă presiunea radiativă din interior este mai mare, steaua se dilată și temperatura sa scade și micșorează presiunea pînă ce dilatarea se oprește. Această stare de echilibru ocupă mare parte din evoluția stelei. În baza temperaturii crescînde din cauza reacțiilor termonucleare, echilibrul este depășit și volumul stelei crește, steaua devenind gigantă. Dar marea cheltuială de energie a stelei epuizează destul de

repede rezervele ei de combustibil (H) și, după un maxim de strălucire, materia ei degenerează; în majoritatea cazurilor devine stea pitică albă cu densitate enormă.

Din cele expuse rezultă că materia este veșnică, nu se creează, nu se distruge, ci este într-o continuă transformare. Contrar afirmațiilor mistice, Universul nu are nici început, nici sfârșit, doar materia trece dintr-o formă în alta. Corpurile care formează o parte din Univers sînt forme vremelnice ale materiei: apar, își cheltuiesc energia, apoi dispar, materia lor trecînd într-o altă formă. Viața poate să apară în condiții favorabile pe anumite corpuri, și după un lung proces evolutiv, poate da nașterea omului.

Aceasta continuă să se răcească, ajungînd o pitică neagră, neobservabilă. La stelele cu mase mari, după consumarea hidrogenului, se poate ajunge la transformarea heliului în carbon, iar în stadiul lor final materia lor se prăbușește, ele transformîndu-se în stele neutronice sau hiperonice, cu o densitate de milioane de tone pe 1 cm^3 , avînd razele de numai cîțiva kilometri.

Steaua neutronică, într-un anumit stadiu al evoluției sale, poate deveni un pulsar. La unele gigante masive, după explozia de supernovă, nucleul care rămîne se poate contracta indefinit, ceea ce duce la formarea unei găuri negre. Denumirea provine din faptul că un asemenea obiect, din cauza cîmpului gravitațional intens, nu poate emite radiație electromagnetică sau corpusculară. El se manifestă doar prin cîmpul gravitațional. O gaură neagră ar putea fi sursa compactă de raze X Cyg X - 1, care face parte dintr-un sistem binar, cealaltă componentă fiind o stea normală.

În regiunea stelară unde domină stelele populației II nu se formează stele, deoarece hidrogenul a fost epuizat. Este posibil ca din nucleul unei galaxii mari să fișnească spre exterior alte galaxii mai mici, însoțite de puternice emisii de unde radio (fig. 112).

CERCETAREA DIRECTĂ A SPAȚIULUI COSMIC

1. Necesitatea cercetării directe a spațiului cosmic

Din cele mai vechi timpuri omul a fost impins de dorința de a pătrunde în adîncimile albastre (aparent) ale cerului. Astăzi, însă, el simte nevoia de a cunoaște și explica fenomenele din jurul lui. Știe că există legi în natură, izvorîte din proprietățile materiei, legi care nu pot fi schimbate sau suprimate, dar pot fi folosite în mod util dacă sînt cunoscute.

Existența, în aparență liniștită a planetei noastre și a vieții pe care o întreține, nu decurge monoton, imperturbabil, ca a unui corp perfect izolat, ci din contra, sub acțiunea întregii materii aflate în afara ei. Această acțiune se manifestă prin:

- atracția exercitată asupra Pămîntului, pe baza legii atracției universale. Rezultatul îl constituie mișcările reale ale Pămîntului în spațiu;

- efectul radiațiilor emise de toate corpurile cerești. Ele dau naștere la fenomene care acționează, direct asupra vieții de pe Pămînt, dar care încă nu sînt în întregime cunoscute, deci nici nu pot fi prevăzute.

Pe baza progreselor mecanicii cerești, efectul gravitic al materiei exterioare asupra Pămîntului a putut fi precis studiat. Cunoașterea mișcărilor Pămîntului, ca mișcarea de rotație, de revoluție, precizia, deplasarea polilor etc., ca și prevederea pozițiilor ulterioare ale acestuia sînt o dovadă a justetei principiilor mecanicii cerești. Mai mult, pe baza a cîtorva observații, astronomul este în măsură să prevadă pentru un moment dat poziția oricărui corp ceresc.

Aici se părea că se opresc posibilitățile astronomiei: nu numai unii filozofi, ci chiar și mari savanți, ca Bessel, în anul 1840, afirmau că singurul rol al astronomiei este de a găsi legile de mișcare ale astrelor în vederea prezicerii pozițiilor lor ulterioare. Orice altă informație asupra corpurilor cerești era considerată ca lipsită de temei, întrucît ei nu vedeau nici o posibilitate de a putea învinge imensitatea spațiilor cerești.

N-au trecut nici două decenii și aceste prevederi au fost infirmate: în 1859, Kirchhoff și Bunsen pun bazele analizei spectrale și cu acesta și posibilitatea de a determina com poziția chimică, condițiile fizice și deplasarea reală în spațiu a corpurilor cerești. Dezvoltarea ulterioară a fizicii a permis studiul mai amănunțit al radiațiilor, ca și descoperirea unei serii de proprietăți ale acestora.

Dar studiul radiațiilor aici pe Pămînt se poate efectua numai în parte. Considerînd spectrul unui astru în opoziție cu spectrele surselor terestre, cercetătorul este frapat de delimitarea bruscă a acestora, atît la lungimile de undă scurtă cît și la lungimile mai mari de unde. De aici concluzia că, datorită opacității atmosferice terestre, numai anumite radiații pot ajunge la suprafața Pămîntului. De exemplu, razele ultraviolete, cu efect curativ pe Pămînt, au un efect distrugător în spațiile extraterestre.

Deci materia extraterestră cu manifestările ei poate fi studiată numai acolo, „la fața locului”.

Mai mult, omul este mereu în căutarea de noi surse de energie pentru a-și asigura existența. Aceste surse inepuizabile de energie se găsesc în spațiul cosmic (Soarele, stelele), și nu mai acolo se pot completa cunoștințele necesare pentru utilizarea lor.

De aici nevoia imperioasă de a cerceta spațiul cosmic.

2. Realizări obținute

Marea bătaie pentru cucerirea spațiului cosmic este dusă în condițiile existenței unei tehnici avansate, pe baza dezvoltării științei actuale.

Începutul a fost făcut prin lansarea de sateliți artificiali. Aceasta s-a putut efectua cu ajutorul unor rachete puternice (ca, de exemplu, cea din fig. 113), pe baza egalării forței gravitaționale prin viteze în jurul primei viteze cosmice, de circa 8 km/s. Astfel au fost lansați o serie de sateliți artificiali al Pământului de către Uniunea Sovietică și Statele Unite ale Americii (primul satelit artificial al Pământului a fost lansat din Uniunea Sovietică la 4 octombrie 1957), care au permis cunoașterea primelor date provenite direct din spațiul exterior, atât asupra materiei cât și asupra radiațiilor existente.

Au fost apoi lansate rachete-lunici în 1959, care, învingând forța gravitațională, prin viteze în jurul celei de-a doua viteze cosmice (11,2 km/s) sau depășind-o pe aceasta, au contribuit la cunoașterea unor date asupra satelitelui natural al Pământului: Luna.

S-au obținut astfel date științifice de o deosebită valoare, ca: fotografia părții invizibile a Lunii, pe baza căreia s-a putut întocmi harta întregului relief lunar, sau fotografii realizate în imediata apropiere și transmise pe Pământ, ajutând la o mai bună cunoaștere a Lunii.

Lansarea unor sateliți sau a unor rachete inzestrate cu aparatura necesară a dat posibilitatea oamenilor de știință să cunoască elementele importante referitoare la planeta noastră și la satelitul ei natural.

Dar omul consideră că laboratoarele automate nu sînt suficiente pentru studierea spațiului cosmic, ci este necesară prezența lui însuși. Pentru zborul omului în Cosmos s-au făcut intense pregătiri, printre care: lansarea unor sateliți care aveau la bord animale, reîntoarcerea lor pe Pământ, legată de importanta problemă a anihilării vitezei cosmice a satelitelui și a aterizării lui în bune condiții, pregătirea omului pentru a rezista condițiilor de imponderabilitate, de rezistență la suprasolicitățile din cauza unei mari variații a vitezei la plecare sau din cauza frînării la întoarcere etc.

Eforturile oamenilor de știință, ale inginerilor și tehnicienilor au fost încununate de succes. Astfel, la 12 aprilie 1961, din Uniunea Sovietică, Iuri Alekseevici Gagarin a fost lansat pe orbită de satelit cu o navă „Vostok”, deschizînd astfel drumul zborurilor omului în Cosmos.

Au urmat apoi alte zboruri ale cosmonauților sovietici și americani, dintre care printre ultimele au fost zborurile în grup sau pe nave cu echipaj.

Cercetările spațiului cosmic nu s-au restrîns numai la planeta noastră și la satelitul său natural. Eforturile au fost îndreptate și spre studierea altor planete ale sistemului nostru solar, în centrul atenției fiind planetele Marte și Venus.

Prin cercetările efectuate au fost obținute o serie de rezultate importante în domeniul astronomiei. Iată cîteva dintre acestea:

* Prima viteză cosmică corespunde forței vii care egalează forța gravitațională (viteza circulară).

** A doua viteză cosmică corespunde forței vii care, depășind forța gravitațională, permite corpului să evadeze din cîmpul gravitic terestru (viteza parabolică).

a) Lansarea de sateliți artificiali, rachete cosmice și nave cosmice dovedește că omul este în măsură să făurească corpuri care să se miște în spațiu pe baza aceluiași legi ca și corpurile naturale. În acest mod se infirmă prin practică concepțiile mistice relative la originea corpurilor cerești.

b) Prin crearea corpurilor cosmice artificiale, omul poate interveni în natură la scară cosmică, făcînd aici experiențe.

c) Din studiul modificării orbitelor sateliților pot fi deduse o serie de date foarte importante; astfel:

— s-a determinat pentru turtirea Pământului valoarea de $1/298,5$;

— s-a determinat forma și dimensiunile Pământului;

— s-a putut preciza forma geoidului;

— cu ajutorul sateliților artificiali se poate determina precis poziția stațiilor de observare față de centrul Pământului;

— se poate determina densitatea și temperatura aerului la mari înălțimi. S-au dedus densitățile pînă la 800 km.

d) Un alt studiu este al micrometeoritilor. S-a ajuns la concluzia că primejdia ciocnirilor cu micrometeoriti este mică.

e) Studiul Lunii s-a putut perfecționa mult cu ajutorul rachetelor cosmice. Masa și repartitia ei în interiorul Lunii s-au studiat din modificări ale orbitelor rachetelor și sateliților circumlunari. Nu s-au putut pune în evidență nici zone de radiație intensă în jurul Lunii, nici existența unui cîmp magnetic lunar.

Primele fotografii ale părții invizibile a Lunii, ca și a celei vizibile, obținute din imediata apropiere, ne-au adus la cunoștință relieful lunar în întregime.

S-a inaugurat o nouă metodă de cercetare a corpurilor cerești prin fotografii retransmise de la mare distanță.

f) Razele cosmice sînt un flux de nuclee atomice obișnuite, dotate cu o uriașă energie de mișcare. O parte din particulele cosmice sînt captate de cîmpul magnetic terestru și, în urma interacțiunii cu nucleele din straturile superioare, dau particulele care se mișcă cu mare viteză în briile de radiații din jurul Pământului. S-au detectat două briie de radiații: primul — între 1 000 și 2 500 km — și al doilea — între 10 000 și 20 000 km distanță



Fig. 113. Rachetă de lansare cu mai multe trepte

de la suprafața Pământului. În al doilea rând, radiațiile au o intensitate de 5 000 de ori mai mare decât cea pe care o poate suporta corpul omenesc.

g) Sateliții artificiali sînt utilizați în tot mai mare măsură în probleme practice, ca în meteorologie, în radiotelecomunicații, în navigație etc. O serie de țări, în afară de U.R. S.S., S.U.A., Franța, care au lansat sateliți, ca Japonia, Anglia, Italia etc. au lansat rachete meteorologice și geofizice, pentru a asigura strîngerea cit mai directă a datelor necesare.

3. Perspectivele cercetărilor în Cosmos

În lumina metodei de cercetare directă care se oferă astronomului, perspectivele de viitor ale cercetării materiei din Univers sînt grandioase:

1) Absorbția atmosferică, care în prezent ne desparte de spațiul cosmic și limitează pe de o parte observațiile, iar pe de altă parte alterează pe cele existente, poate fi înlăturată cu ajutorul sateliților artificiali și al stațiilor interplanetare. Va rămîne doar absorbția datorită materiei interstelare (în special, hidrogenului neutru), care va exercita o absorbție restrînsă (între 100 și 912 Å și pentru $\lambda > 10^5$ cm). De aici rezultă că se va putea face:

— studiul Soarelui într-un domeniu spectral întins, pentru a lămuri relațiile dintre fenomene solare și cele terestre;

— observarea stelelor în domeniul ultraviolet (imposibilă de pe Pământ) va permite un studiu al proceselor evolutive în stele;

— cercetarea materiei interstelare cu un spectrograf ar permite rezolvarea probleme circulației materiei între stea și materia interstelară.

2) Determinarea distanțelor stelare cu ajutorul mișcării anuale a Pământului vor extinde mult cunoștințele asupra Galaxiei noastre.

3) Contactul direct al omului cu Luna, Venus și Marte, devenit iminent, va lămuri structura, trecutul și viitorul sistemului nostru solar.

Țara noastră participă la marile eforturi ale omenirii pentru cucerirea spațiului cosmic. În acest scop au fost înființate încă din 1957 în cadrul observatoarelor din București și Cluj-Napoca cîte o stație permanentă pentru urmărirea sateliților artificiali și rachetelor cosmice, iar în 1964 a intrat în funcțiune a treia stație al Observatorului din Timișoara. În cadrul unor largi colaborări internaționale se efectuează cercetări de geodezie prin sateliți, dirijate de organizația mondială COSPAR (Comitetul pentru cercetarea spațiului cosmic), și studiul variației densității atmosferice terestre (la observatoarele din București, Cluj-Napoca și Timișoara) din perturbațiile în mișcările sateliților artificiali ai Pământului.

Menționăm, în încheiere, că în cadrul programului *Intercosmos*, în mai 1981 a avut loc zborul comun româno-sovietic (cu nava cosmică *Soiuz 40*), echipajul fiind format din comandantul Leonid Popov și cosmonautul cercetător Dumitru Prunariu.

Capitolul I

1. *Indicație:* Se folosește definiția polilor și a meridianei unui loc de pe suprafața terestră.
 2. *Indicație:* Segmentul de dreaptă EV este diametrul comun al celor două cercuri mari.
 3. *Indicație:* Se folosește indicația problemei 2.
 4. R: $\varphi \geq \delta \geq 0$.
 5. R: $\delta \geq 45^\circ 35'$. *Indicație:* Se folosește condiția generală dată de $\delta \geq 90 - \varphi$.
 6. R: Polul nord.
 7. R: $\varphi = 43^\circ 53'$.
 8. R: $\delta = +25^\circ 00'$.
 9. R: $\delta = -02^\circ 56' 23''$. *Indicație:* $\text{tg } Z_m = \frac{L}{1}$, unde L este lungimea umbrei, iar 1 — lungimea gnomonului.
- Declinației găsite îi corespund două date de observație: 13 martie și 30 septembrie.

Capitolul II

1. *Indicație:* Se folosește $t_B - t_A = L_B - L_A$. R: 1h 54m 27s, 7.
2. R: $\varphi = 44^\circ 11'$.
3. R: $z = 69^\circ 47' 38''$.

Capitolul III

1. R: În punctele echinocțiale: $\gamma \begin{matrix} (\lambda = 0^\circ \\ (\beta = 0^\circ) \end{matrix}$; $\omega \begin{matrix} (\lambda = 180^\circ \\ (\beta = 0^\circ) \end{matrix}$; în punctele solstițiale: $\epsilon \begin{matrix} (\lambda = 90^\circ \\ (\beta = 0^\circ) \end{matrix}$; $\epsilon' \begin{matrix} (\lambda = 270^\circ \\ (\beta = 0^\circ) \end{matrix}$.
2. R: $\varphi = +66^\circ 33'$. *Indicație:* La 22.XII, $\delta = -23^\circ 27'$.
3. *Indicație:* folosind formulele $h = 90 - \varphi + \delta$, $h_2 = -(90 - \varphi - \delta)$ și condițiile $-\epsilon \leq \delta \leq +\epsilon$, se face discuția pentru φ .
4. R: $\alpha = 0'' 31$. *Indicație:* $\alpha'' = 206265 \frac{v}{c}$, unde v este viteza de rotație a unui punct de pe ecuator, c viteza luminii; direcția vitezei Pământului este normală pe direcția astrului.
5. *Indicație:* Vezi harta cerească. R: în Hercule.

Capitolul IV

1. *Indicație:* Cu ajutorul fenomenului de zi și de noapte și al vizibilității obiectelor.
2. R: $\Delta L = +0^h 56^m 06s$.
3. *Indicație:* $t_2 - t_1 = L - 2h$.
4. *Indicație:* După ce se obține $\theta = \alpha + t$, se transformă în timp legal R: $t_2 = 22^h 29^m 6s$.
5. R: $L = -2^h 05^m 22s$.
6. R: Se întîlnesc la 21 iulie.
7. *Indicație:* În 1582, după ziua de 4.X, a urmat ziua de 15 X.
R: 4 ianuarie 1643.

Capitolul V

1. $R: \Delta = 1\,718\,875\text{ U.A.}; \Delta = 8,33\text{ parseci}; \Delta = 27,76\text{ a.l.}$
2. $R: \pi = 0'',228.$
3. $R: 2R_L = 3\,466\text{ km.}$

Capitolul VI

1. $R: F = 3,6 \times 10^{27}\text{ dyn.}$
2. $R: M = 0,104\text{ mase terestre.}$ Indicație: Se folosește legea III a lui Kepler, în care raportul m_1/M_1 se neglijează; m_1 = masa satelitelui Phobos, iar M — masa planetei Marte.
3. Indicație: Vezi teoria expusă pentru Lună.
4. $R:$ În prima zi, Luna a răsărit la ora 12, iar în ziua următoare, cu $0^h48^m46^s,8$ mai târziu.
5. Indicație: Vezi figura care explică fazele Lunii.
6. Indicație: Eclipsele de Lună și de Soare pot avea loc atunci când Luna, Pământul și Soarele se află situate pe aceeași dreaptă: Eclipsa de Soare poate avea loc în faza de Lună nouă, iar cea de Lună — în faza de Lună plină. $R:$ peste aproximativ 7, respectiv 21 de zile.
7. Indicație: 8 trebuie să fie pozitiv.
8. Indicație: Atracția pe Pământ este de 6 ori mai mare decât atracția de pe Lună. $R: 10\text{ kg.}$

Capitolul VIII

1. $R: 1820\text{ kg.}$
2. $R:$ Diametrul petei $\approx 508\text{ km.}$

Capitolul IX

1. $R: F_2 \approx 1,05 F_1$, unde F_1 este forța de atracție a Soarelui, asupra Pământului, iar F_2 asupra planetei Saturn.
2. $R: S_1 = 2,3104 S_2$. Indicație: Strălucirea este invers proporțională cu pătratul distanței (S_1 = constanta solară pe Pământ iar S_2 — constanta solară pe planeta Marte).
3. Indicație: Se determină paralaxa cometei ca și în cazul Lunii și se calculează distanța.

Capitolul X

1. $R: E_1 = 3\,981 E_2$, unde E_1 este strălucirea stelei de magnitudinea întâi, iar E_2 — strălucirea stelei de magnitudinea a zecea.
2. $R: E_2 = 63\,100 E_1$, unde E_2 este strălucirea noiei după descreșterea magnitudinii iar E_1 — strălucirea inițială.
3. $R: E_1 = 478\,600 E_2$, unde E_1 este strălucirea Soarelui, iar E_2 strălucirea Lunii.
4. $R: M \approx 1,27$. Indicație: $M = m + 5 + 5 \lg \pi''$.
5. Indicație: $\frac{L_*}{L_\odot} = 2,512 M_{\odot-M_*}$, de unde R_* din aplicarea formulei, dela pagina 99.

LUCRĂRI PRACTICE DE ASTRONOMIE

Data fiind mărimea corpurilor cerești, fenomenele astronomice se observă atunci când se produc, neputînd fi reproduse (în laborator). De aceea observațiile se pot face numai la anumite date și numai atunci când cerul este senin. De aici dificultatea pe care o prezintă; în timp ce experiențele la fizică se pot organiza oricînd este necesar, observațiile astronomice nu se pot face paralel cu capitolele la care se referă și se fac atunci cînd condițiile meteorologice sînt favorabile. Cele mai potrivite luni de observație sînt cele de toamnă — septembrie — octombrie — și cele de primăvară — martie, aprilie și mai.

Observațiile se fac noaptea, cînd se pot observa aștrii, cu excepția Soarelui, care se observă ziua. Ele se fac dintr-un loc deschis și la temperatura mediului înconjurător, deci la temperaturi mai scăzute, din care motiv elevii trebuie să fie îmbrăcați călduros. Fiecare elev va avea harta cerului (din manual), carnetul de observații și o lanternă de buzunar (pentru observații de noapte).

Pe lîngă rolul lor didactic, lucrările practice de astronomie formează o deprindere de a observa fenomenele, care adesea scapă astronomului de profesie. Dacă ele sînt corect efectuate pot avea o reală valoare științifică. Data fiind mulțimea mare a corpurilor cerești și a fenomenelor astronomice, amatorii înarmați cu lunete modeste sau chiar numai cu ochiul liber pot aduce mari servicii astronomiei. Observarea sistematică a petelor solare, a stelelor variabile, a fazelor unei eclipse și altele sînt foarte utile.

În acest scop recomandăm următoarele lucrări practice:

1. *Punerea în evidență a mișcării anuale a Soarelui* prin schimbarea punctelor de apus și de răsărit. Dintr-un punct dat (același) fixăm punctele de apus și de răsărit ale Soarelui față de obiectele orizontului aparent. Observațiile se fac o dată la fiecare două săptămîni. Ne convingem ușor că aceste puncte se schimbă, dovedind mișcarea anuală aparentă a Soarelui. O schiță a orizontului aparent cu reperele sale pe care notăm punctele observate de răsărit și de apus ale Soarelui este foarte utilă.

2. *Pentru mișcarea aparentă a Lunii* putem face același lucru, observînd din două în două zile (după cum permit condițiile atmosferice) punctele de răsărit și apus ale Lunii.

Mai bine se poate observa deplasarea Lunii cu 13° în 24 de ore, dacă notăm pe o copie a hărții cerești poziția Lunii față de stelele care apar în jurul ei și schimbăm faza Lunii. Făcînd această operație din două în două zile, ne vom da ușor seama de mișcarea Lunii spre răsărit în raport cu stelele, precum și de succesiunea fazelor lunare descrise la pagina 79.

3. *Recunoașterea constelațiilor.* În acest scop utilizăm harta mobilă a cerului înstelat aflată la sfîrșitul manualului.

Harta mobilă a cerului prezintă constelațiile mai importante, cu declinațiile între -45° și $+90^\circ$, deci vizibile în țara noastră în cursul unui an. Din cauza mișcărilor de rotație și de revoluție ale Pământului, partea văzută deasupra orizontului se schimbă cu ora nopții și cu anotimpul.

Pentru a ne orienta ușor, să studiem harta mobilă a cerului: în centru se află polul nord în imediata vecinătate a Stelei Polare. Cercurile concentrice sînt paralelii cerești din 30° în 30° (deci paralelii de 60° , 30° , 0° , -30° și -45°), cercul corespunzător ecuatorului fiind cel îngroșat. Razele sînt meridiane cerești trasate din două în două ore (12 meridiane). Pe hartă sînt notate stelele pînă la magnitudinea a 4-a, deci acelea care se văd ușor cu ochiul liber.

Centrul excentric de pe hartă reprezintă ecliptica: ea taie ecuatorul în două puncte: punctul vernal cu ascensia 0^h și punctul autumnal cu ascensia 12^h . În exteriorul paralelului de -45° au fost notate lunile și zilele anului (din 5 în 5 zile). Ducînd raza corespunzătoare diviziunii zilei considerate, ea taie ecliptica în punctul unde se află Soarele la acea dată. Harta este deformată, deoarece sfera nu se poate reprezenta în plan fără deformare: regiunea boreală se micșorează pe măsura apropierii de pol, în timp ce regiunea australă se mărește pe măsură în depărtării de ecuator.

Cercul alăturat hărții are aceeași rază cu aceasta și este divizat în 24 de ore, fiecare oră avînd diviziunile zecilor de minute. Cercul mic din exterior reprezintă orizontul, iar centrul lui — zenitul locului de 45° latitudine (este latitudinea medie a țării noastre). Punctele cardinale sînt notate pe cercul mic.

Suprapunem cercul mare peste harta cerului, astfel ca momentul observației (ora și zecile de minute) citit pe cerc să se suprapună datei observației citite pe harta cercului; partea hărții din interiorul cercului mic reprezintă partea sferei cerești aflate deasupra orizontului.

Correspondența hărții cu realitatea pe care o reprezintă, cerul, este completă dacă ținem harta ridicată în fața noastră, astfel ca punctele cardinale notate pe ea să fie îndreptate spre punctele cardinale de pe teren.

Se recomandă ca harta mobilă și cercul de suprapus să fie copiate după hartă utilizînd copiile pentru observații pentru a nu distruge originalul.

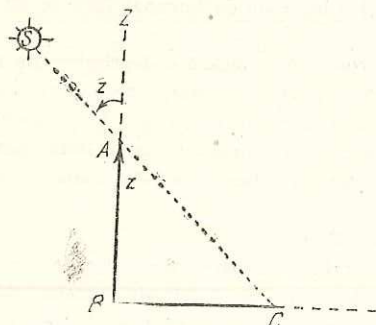


Fig. 114. Determinarea distanței zenitale a Soarelui cu gnomonul.

aparatură fotografică obișnuit, pus la punct pentru distanța infinită. Se va expune (nemîșcat) aproximativ o oră. Se va vedea că stelele descriu arce concentrice avînd centrul în pol.

6. *Identificarea planetelor.* Identificînd stelele din constelațiile zodiacale cu ajutorul hărții mobile, aștrii strălucitori necuprinși pe hartă sînt planetele. Se identifică ușor și prin lipsa lor de scintilație (scinteiere), deoarece scintilația diferitelor lor puncte se compensează. Cu un instrument oricît de modest se prezintă ca discuri. Se va nota pe copia hărții poziția planetei în raport cu stelele. Repetînd lunar observația, se va constata mișcarea planetei printre stele. Observațiile vor fi începute în luna septembrie.

7. *Urmărirea meteorilor.* În nopțile fără Lună se pot observa meteorii brăzdînd cerul. Se vor nota: punctul de apariție, punctul de dispariție al meteorului, în raport cu stelele, momentul observației (ora, minutul și secunda) și strălucirea meteorului comparată cu a stelelor strălucitoare de pe cer.

8. *Orientarea.* a) *Cu ajutorul Stelei Polare.* Elevul, stînd cu fața spre Steaua Polară, va avea în față nordul, în spate sudul, în dreapta estul și în stînga vestul.

b) *Cu ajutorul gnomonului.* În zilele senine se poate trasa direcția meridianei prin metoda umbrelor egale.

9. *Măsurarea distanțelor zenitale ale Soarelui.* Cu ajutorul gnomonului (fig. 114). se măsoară lungimea umbrei BC și lungimea gnomonului AB, notînd momentul observației:

$$\operatorname{tg} z = \frac{BC}{AB}.$$

10. *Determinarea coordonatelor geografice ale locului.* a) *Pentru latitudine* se determină distanța zenitală a Soarelui (cum s-a arătat la punctul precedent), în momentul cînd umbra BC ajunge pe direcția dinainte trasată a meridianei (fig. 115). Luînd din Anuarul Observatorului din București (care apare în Editura Academiei) declinația Soarelui pentru ziua respectivă, avem:

$$\varphi = \delta + Z_m$$

Constelația cea mai familiară tuturor este Ursa Mare — populat Carul Mare — care fiind circumpolară, este vizibilă la orice oră din noapte. Prelungind osia ultimelor două roți încă de 5 ori, întîlnim Steaua Polară, virful oiștei Carului Mic, denumirea populară a Ursei Mici. Această constelație cu stele mai slabe se îndreaptă cu ultimele două roți spre virful oiștei Carului Mare. Cu ajutorul hărții mobile vom putea identifica ușor celelalte constelații vizibile. (Este de amintit aici cartea popularizatorului român Victor A. nestin *Cum să înveți stelele*).

4. *Identificarea stelelor strălucitoare* cuprinse în tabelul nr. III. Se va observa culoarea fiecărei stele și se va deduce variația culorii cu temperatura.

5. *Punerea în evidență a mișcării diurne a sferei cerești.* Se va îndrepta spre Steaua Polară un

b) *Pentru longitudine* vom determina întîi timpul mijlociu de la Greenwich, care timpul universal, adică timpul nostru legal micșorat cu două ore. În acest scop vom compara ceasul de care dispunem cu semnalele orare date la radio București, pentru a avea corecția ceasului. Determinăm timpul mijlociu (t_m) al locului cu ajutorul gnomonului (v. pct. 1), notînd momentul citit (t_{cG}) pe ceas în momentul trecerii Soarelui la meridian. Longitudinea va fi:

$$L = t_m - t_{mG}.$$

11) *Determinarea orei.* a) *Cu ajutorul gnomonului.* Se determină momentul citit (T) pe ceasul de care dispunem, al trecerii Soarelui la meridian, adică momentul cînd umbra gnomonului se află în direcția meridianei. Avem timpul adevărat egal cu zero.

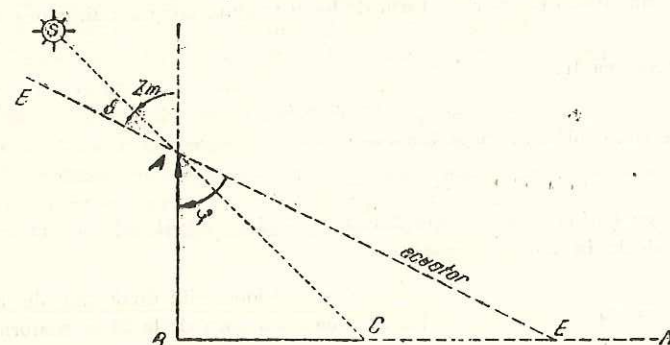


Fig. 115. Determinarea latitudinii geografice cu gnomonul.

Timpul mijlociu în acest caz va fi:

$$t_m = E + 12^h,$$

unde E este ecuația timpului (se ia din Anuarul Observatorului din București), aflată la data respectivă în tabelele cu efemerida Soarelui, coloana a 5-a.

Timpul legal va fi:

$$t_l = t_m - L + 12^h,$$

unde L este longitudinea cunoscută (aproximativ) a locului de observație.

Diferența

$$t_l - T = C$$

va fi corecția ceasului.

b) *Cu ajutorul cadranelor solare.* Spre deosebire de metoda precedentă se poate determina timpul solar adevărat pentru orice oră a zilei cît Soarele este deasupra orizontului, cu ajutorul cadranelor solare.

— *Cadrantul solar ecuatorial* se poate construi foarte ușor: se ia un diedru format din două planșete al căror unghi este egal cu complementul latitudinii geografice ($90^\circ - \varphi$). Pe fața superioară a planșetei se desenează un cerc avînd în centru un gnomon. Perpendicular pe muchia diedrului se trasează direcția orei 12, de la care din 15° în 15° sînt notate diviziunile orare. Se așază cadrul cu deschiderea diedrului spre sud, astfel ca direcția meridianei să coincidă cu raza orei 12. Citirea pe cadrul corespunzătoare umbrei gnomonului ne dă timpul solar adevărat. Dezavantajul acestui cadrul este faptul că nu poate fi utilizat decît între 21 martie și 23 septembrie, cînd Soarele este exterior unghiului diedru al cadrului.

— *Cadrantul solar orizontal* este mai convenabil. Se compune dintr-o planșetă orizontală pe care perpendicular se află un triunghi, a cărui bază prelungită ne dă direcția orei 12, iar un-

ghiul din virf este egal cu latitudinea φ . Dreptele corespunzătoare orelor se duc încît să formeze unghiul α cu direcția orei 12, după formula:

$$\operatorname{tg} \alpha = \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} t,$$

unde unghiul orar t ia pe rînd valorile $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, \dots$, etc., iar pentru subdiviziuni se dau lui t valori intermediare celor înșirate.

Se trece la timpul mijlociu și la cel legal conform pct. 11. a.

c) Cu ajutorul stelelor. Se ia o stea cu ascensiune cunoscută, care e ușor de identificat, de exemplu α Ursae majoris, a cărei ascensiune este:

$$= 11^h 02^m.$$

Se ia un compas de lemn (tip școlar) și se ține cu brațele întinse, încît virful unghiului să se proiecteze pe polară, un braț să treacă peste capul observatorului (spre sud), iar celălalt virf peste steaua α UMa. Măsurăm cu raportorul de lemn unghiul compasului, care e unghiul orar t (fig. 116).

Timpul sideral va fi:

$$\theta = \alpha + t.$$

Se transformă în timp mijlociu după formula:

$$t_m = (\theta - \theta_0)R,$$

unde R se ia egal cu 1 (fiind foarte puțin diferit de 1), iar timpul sideral θ la miezul nopții civile se poate calcula în modul următor:

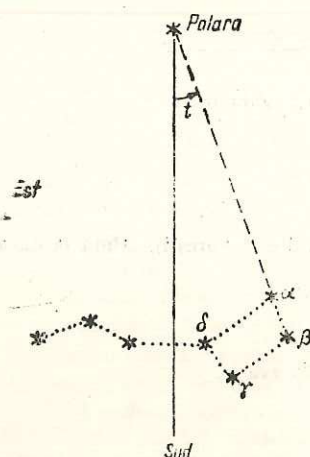


Fig. 116, Determinarea orei cu ajutorul stelelor. Se măsoară unghiul orar t cu ajutorul unui compas de lemn,

— se consideră cîte două ore de fiecare lună întreagă care s-a scurs de la 23 septembrie

— se adaugă încă de atîtea ori cîte 4 minute cîte zile întregi au mai rămas pînă la data la care facem observația.

S: trece apoi la timpul legal conform pct. 11, a

12. Evaluări de străluciri stelare. Diferența dintre magnitudinile a două stele, dacă nu e prea mare (cîteva zecimi de magnitudine), se poate evalua cu ochiul în modul următor; vom construi un șir de grade personale, și anume:

— diferența dintre magnitudinile a două stele este zero grade (egalitate) cînd, privind direct cînd una cînd alta din cele două stele, ne pare mai strălucitoare steaua care o privim;

— diferența este de 1 grad cînd la început ni se pare că cele două stele au aceeași strălucire și numai după repetate comparări putem decide în favoarea uneia din ele;

— diferența este de 2 grade cînd de la început putem decide care din cele două stele este mai strălucitoare;

— diferența este de 3 grade cînd o stea e evident mai strălucitoare decît alta.

Cunoscînd magnitudinile stelelor, putem determina valoarea unui grad personal împărțind diferența de magnitudini $m_1 - m_2$ cu numărul de grade personale n :

$$1 \text{ grad} = \frac{m_1 - m_2}{n}.$$

De obicei este cuprins între $0^m, 10$ și $0^m, 08$.

Putem face exerciții de evaluări:

— aranjînd stelele din Ursa Mare și Ursa Mică în ordinea magnitudinilor lor;

— evaluînd diferența de magnitudine dintre două stele consecutive (ca strălucire).

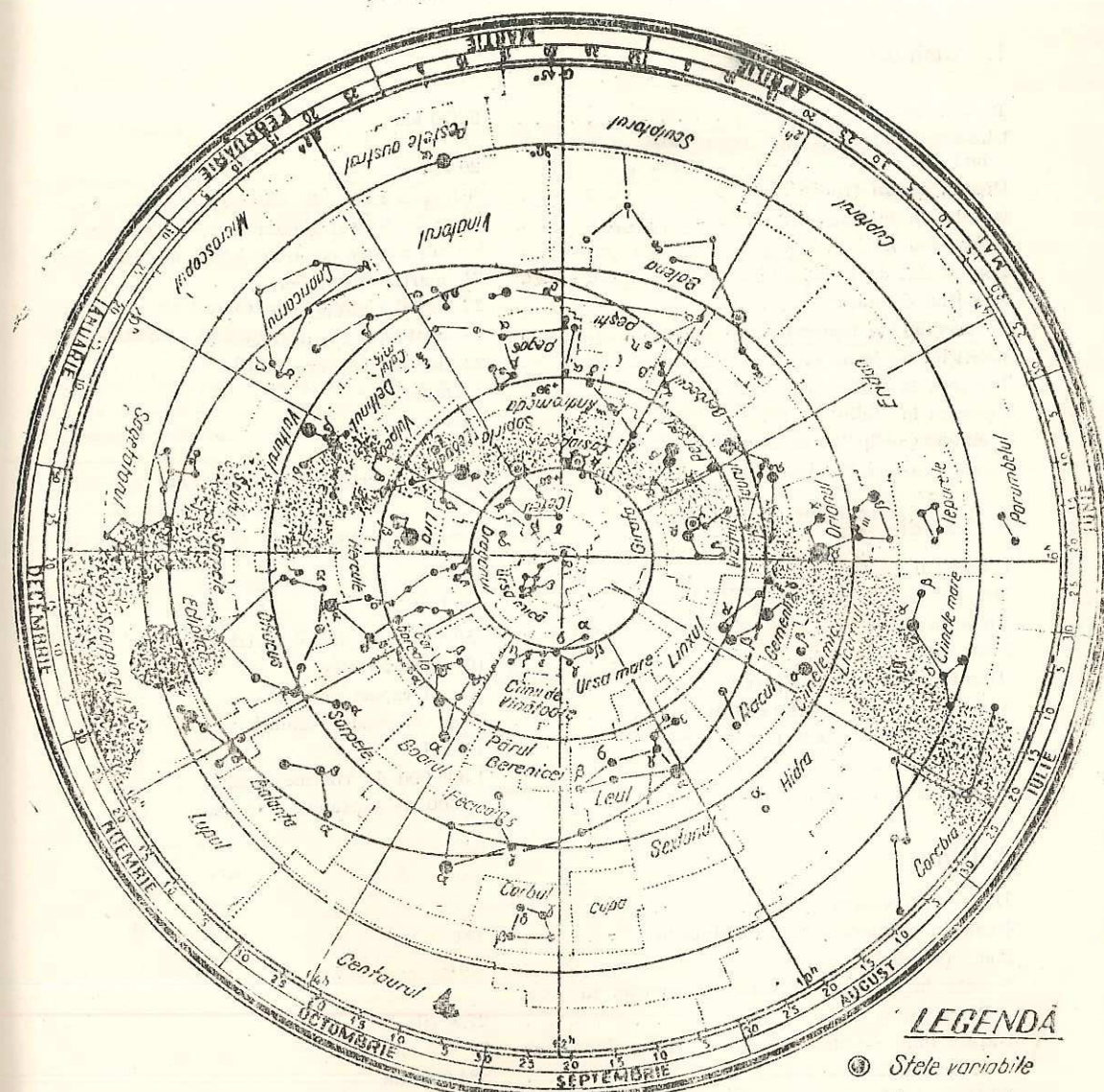
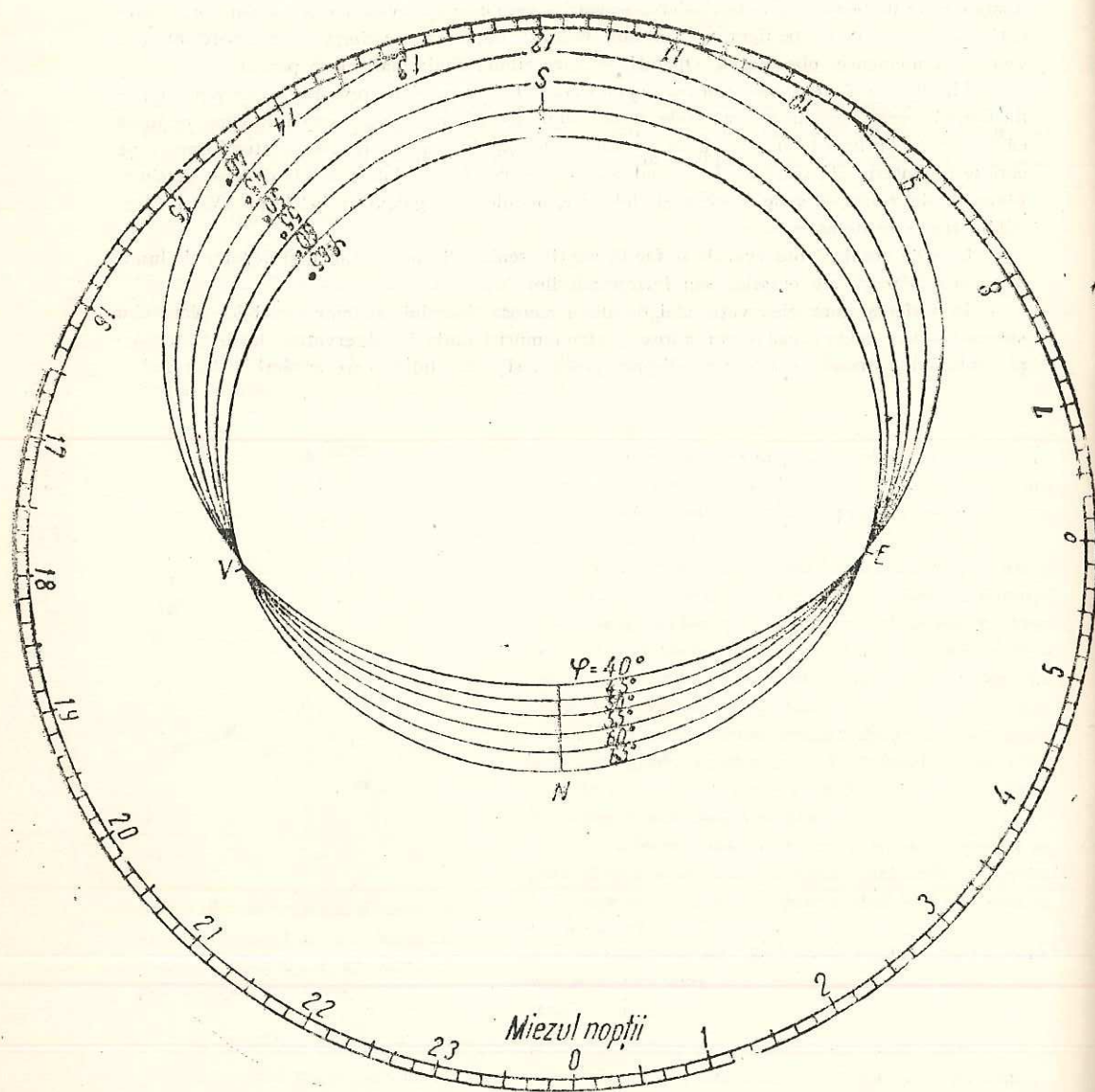
Mai departe se poate trece la evaluarea magnitudinilor stelelor variabile. În acest scop pentru lămuriri ulterioare ne vom adresa unuia din observatoarele astronomice ale țării noastre.

13. Observarea fotosferei solare. Este necesar în acest caz să dispunem de o lunetă oricît de modestă, cu ajutorul căreia imaginea Soarelui se proiectează de un ecran alb. Pe acesta apare conturul Soarelui și petele solare, pe care le vom copia pe ecran cu un creion bine ascuțit. Apoi vom trasa pe figura obținută linia lui de deplasare cu timpul a unei pete solare și vom nota momentul observației. Operația se face zilnic, cînd condițiile o permit.

14. Observații cu luneta sau telescopul școlar. Este foarte interesantă observarea diferite lor corpuri cerești cu luneta, ca: stele duble, roiuri stelare, nebuloase și galaxii, care, pe lîngă că ne oferă o priveliște frumoasă, ne permite să ne convingem despre diversitatea formelor pe care le ia materia din Univers. În scopul acestor observații sînt date tabelele de stele strălucitoare, duble, roiuri de stele deschise și globulare, nebuloase și galaxii (tabelele nr. IV-V), accesibile instrumentelor școlare.

Este de notat că observațiile se fac în nopțile senine, lipsite de Lună, și departe de lumina perturbătoare ale orașelor sau întreprinderilor.

În vederea unor observații mai detaliate asupra Soarelui, stelelor variabile, planetelor sau meteorilor, cei în cauză se vor adresa pentru lămuriri unuia din observatoarele din țara noastră, indicînd instrumentele de care dispun, precum și domeniul în care ar dori să lucreze.



LEGENDĂ

- ③ Stele variabile
- ⊙ Ingrămădiri de stele
- Nebulozități

Anexe

I. Valori numerice aproximative ale mărimilor importante în astronomie

1. Pământul

Raza (valoarea) mijlocie	6 370 km
Diferența dintre raza ecuatorială și raza polară	20 km
Durata anului tropic	365 zile, 5 ore, 49 minute
Durata anului sideral	365 zile, 6 ore, 9 minute
Densitatea medie	5,5 (în raport cu apa)
Echinocliul de primăvară	21 martie aproximativ
Solstițiul de vară	22 iunie aproximativ
Echinocliul de toamnă	23 septembrie aproximativ
Solstițiul de iarnă	22 decembrie aproximativ
Trecerea la periheliu	1 ianuarie
Trecerea la afeliu	1 iulie
Înclinarea eclipticii pe ecuator	$23\frac{1}{2}^{\circ}$
Vîrsta scoarței Pământului	3 miliarde — 4 miliarde de ani

2. Soarele

Diametrul aparent	$\frac{1}{2}^{\circ}$
Masa Soarelui în raport cu Pământul	330 000
Distanța Soare-Pământ (o unitate astronomică)	150 milioane de kilometri
Raza Soarelui	109 raze terestre
Densitatea medie a Soarelui	1,4 (în raport cu apa)
Temperatura la suprafața Soarelui	6 000 de grade absolute
Perioada medie a activității solare	11 ani
Volumul	1 300 000 de volume terestre
Suprafața	12 000 de suprafețe terestre

3. Luna

Diametrul aparent	$\frac{1}{2}^{\circ}$
Raza (în comparație cu a Pământului)	$\frac{1}{4}$
Masa (în comparație cu a Pământului)	$\frac{1}{81}$
Durata lunii sidérale (durata revoluției în jurul Pământului)	27,3 zile
Durata lunii sinodice (intervalul dintre două faze de același fel ale Lunii)	29 $\frac{1}{2}$ zile
Distanța medie Pământ-Lună	384 000 km
	60 de raze terestre

4. Sistemul solar

Cea mai scurtă perioadă de revoluție planetară (Mercur)	3 luni (88 de zile)
---	---------------------

Cea mai lungă perioadă de revoluție planetară (Pluton)	250 de ani
Diametrul planetei celei mai mari (Jupiter)	11 diametre pămîntești
Distanța medie Soare-Mercur (cea mai apropiată planetă)	0,4 U.A.
Distanța medie Soare-Pluton (cea mai depărtată planetă)	40 U.A.

5. Galaxia

Anul lumină	63 300 U.A. = 9×10^{12} km
	206 265 U.A. = $3 \frac{1}{4}$ ani lumină = 31×10^{12} km
Parsecul	
Distanța de la sistemul solar pînă la cea mai apropiată stea Proxima Centauri	4 ani lumină = $1 \frac{1}{3}$ parseci
Dimensiunile Galaxiei: axa mare	100 000 de ani lumină
axa mică	16 000 de ani lumină
Numărul stelelor văzute cu ochiul liber	circa 6 000
Temperatura stelelor	de la $3\,000^{\circ}$ (la stele roșii) pînă la $30\,000^{\circ}$ (la stele albe)
Perioada rotației Soarelui în jurul centrului Galaxiei	200 milioane de ani
Distanța Soarelui la centrul Galaxiei	8 000 de parseci = 26 000 de ani lumină
Distanța pînă la cea mai apropiată Galaxie (nebuloasa din Andromeda)	circa 2 milioane de ani lumină
Raza Metagalaxiei în domeniul undelor vizuale	5 miliarde de ani lumină
în domeniul undelor radio	10 miliarde de ani lumină

II. Alfabetul grec

α — alfa	ι — iota	ρ — ro
β — beta	κ — kapa	σ — sigma
γ — gama	λ — lambda	τ — tau
δ — delta	μ — miu	υ — ipsilon
ε — epsilon	ν — niu	ϕ — fi
ζ — zeta	ξ — xi	χ — hi
η — eta	$\omicron$ — omicron	ψ — psi
θ — teta	π — pi	ω — omega

III. Stelele cu cele mai mari străluciri aparente

Numele în constelație	Numele propriu	Poziția		Magnitudinea aparentă	Tipul spectral	Distanța în ani lumină	Magnitudinea absolută	Strălucirea (strălucire Soare = 1)	Diametrul (D. Soare = 1)	Temperatura în K
		α	δ							
α CMa	Sirius	6h43m	-16°40'	-1,58	A1	8,6	+1,3	26	1,9	11000
α Car	Canopus	6.23	-52,40	-0,86	F0	100	-3,2	2600		7400
α Cen	—	14.37	-60.40	+0,06	G2	4,3	+4,7	1	1,3	6000
α Lyr	Vega	18.39	+38.45	0,14	A0	26	+0,5	50	2,6	11000
α Aur	Capella	5.14	+45.58	0,21	G0	42	-0,4	300	16	5600
α Boo	Arcturus	14.14	+19.23	0,24	K2	33	+0,2	70	30	4200
β Ori	Rigel	5.13	-8.15	0,34	B8	540	-5,8	18000		12000
α CMi	Procyon	7.37	+5.20	0,48	F3	11,1	+2,9	6	2,3	6800
α Eri	Achernar	1.36	-57.26	0,60	B5	70	-1,1	240		15000
β Cen	—	14.01	-60.11	0,86	B1	190	-2,9	1300	6	20000
α Aql	Altair	19.49	+8.46	0,89	A5	15,7	+2,5	9	1,6	8600
α Ori	Betelgeuse	5.53	+7.24	0,92	M2	300	-3,9	3200	300	3100
α Cru	—	12.24	-62.53	1,05	B1	220	-2,7	1000		20000
α Tau	Aldebaran	4.34	+16.26	1,06	K5	53	+0,1	80	72	3300
β Gem	Pollux	7.43	+28.07	1,21	K0	29	+1,5	22		4300
α Vir	Spica	13.23	-10.57	1,21	B2	120	-1,6	380		19000
α Sco	Antares	16.27	-26.21	1,22	M1 A3	250	-3,2	1600	480	3100
α PsA	Fomalhaut	22.55	-29.50	1,29	A3	23	+2,0	14		9000
α Cyg	Deneb	20.40	+45.08	1,33	A2	400	-4,2	4100		10000
α Leo	Regulus	10.06	+12.10	1,34	B8	67	-0,3	115		12000
β Cru	—	12.45	-59.28	1,50	B1	204	-2,5	870		20000
α Gem	Castor	7.32	+31.59	1,58	A1	43	+1,0	35		11000

IV. Stele duble strălucitoare de culori diferite

Steaua	Poziția		Componente		Distanța componentelor	Culoarea
	α	δ	A	B		
γ And	2h01m	+42,1	2m,3	5m,1	10h	portocalie-albastră
α CVn	12,54	+38,6	2,9	5,4	20	galbenă-violetă
β Cyg	19,29	+27,9	3,2	5,4	85	galbenă-albastră
ε Boo	14,43	+27,3	2,7	5,1	3	galbenă-verde
α Her	17,12	+14,5	3,5	5,4	5	galbenă-albastră
α Soo	16,26	-26,3	1,2	6,5	3	portocalie-verde
γ Her	16,18	+19,4	4,5	5,5	11	roșie-albastră (smarald)
ε Hya	8,41	+6,6	3,8	5,0	0,3	galbenă-albastră
π Gem	7,41	+24,5	3,7	8,5	7	portocalie-albastră
η Per	2,47	+55,7	3,9	8,5	28	galbenă-albastră
η Cas	0,46	+57,6	3,7	7,4	9	galbenă-purpurie
δ Her	17,13	+24,9	3,2	8,1	10	albă-violetă
ι Cno	8,41	+29,0	4,2	6,6	31	galbenă-albastră
β Sco	16,00	-19,5	2,9	5,1	14	albă-verde-albăstruie

V. Roiuri stelare, nebuloase galactice și extragalactice (accesibile instrumentelor mici)

Constelația	Poziția		Catalogul și numărul	Dimensiuni aparente	Perioada de vizibilitate
	α	δ			
a) <i>Roiuri deschise</i>					
Taurus	3h45m	+ 24°0	M24 (Pleiadele)	100'	august-februarie
Taurus	4,38	+ 16,0	(Hyadele)	—	august-februarie
Auriga	5,25	+35,8	M 38	20'	august-aprilie
Auriga	5,49	+32,6	M 37	20'	august-aprilie

Constelația	Poziția		Catalogul și numărul	Dimensiuni aparente	Perioada de vizibilitate
	α	δ			
Gemini	6,06	+24,4	M 35	40'	septembrie-martie
Monoceros	6,30	+04,9	H VII 2	40'	octombrie-februarie
Canis Major	6,45	-20,7	M 41	30'	noiembrie-februarie
Monoceros	7,01	-8,3	M 50	10'	octombrie-februarie
Cancer	8,37	+20,2	M44 (Praesepele)	—'	noiembrie-aprilie
Cancer	8,49	+12,0	M 67	25'	noiembrie-aprilie
Ophiucus	17,54	-19,0	M 23	25'	mai-august
Scutum	18,48	-6,3	M 11	10'	mai-august
Lacerta	22,13	+49,7	H VIII 75	20'	totdeauna (august)
Cassiopeia	28,22	+61,3	M 52	12'	totdeauna (septembrie)
Cassiopeia	23,35	+56,4	H VI 30	30'	totdeauna (septembrie)
Roșuri globulare					
Perseus	2,16	+56,9	H VI 33,34	dublu	totdeauna (octombrie)
Hydra	12,37	-26,5	M 68	3'	februarie-mai
Canes Venatici	13,40	+28,6	M 3	10'	ianuarie-iulie
Libra	15,15	-20,8	M 19	7'	martie-iulie
Hercules	16,40	+36,6	M 13	10'	februarie-iulie

Constelația	Poziția		Catalogul și numărul	Dimensiuni aparente	Perioada de vizibilitate
	α	δ			
Ophiucus	17,0	-26,2	M 19	4'	aprilie-iulie
Ophiucus	17,16	-18,5	M 9	2'	aprilie-iulie
Aquarius	21,31	-1,1	M 2	8'	iunie-octombrie
c) Nebuloase planetare					
Hydra	10,22	-18,4	H VI 27	40" × 35"	ianuarie-aprilie
Ursa Major	11,12	+55,3	M 97	3'	totdeauna (martie)
Draco	17,59	+66,6	H IV 73	23"	totdeauna (iunie)
Lyra	18,52	+33,0	M 57 inelară	80" × 60"	aprilie-noiembrie
Vulpecula	19,57	+22,6	M 27	8' × 4'	aprilie-octombrie
Andromeda	23,23	+42,2	H IV 18	32" × 28"	iunie-ianuarie
d) Nebuloase difuze					
Taurus	5,32	+22,0	M 1	6' × 4'	septembrie-martie
Orion	5,33	-5,4	M 42	60" × 60"	octombrie-februarie
Sagittarius	17,59	-23,0	M 20 (Trifida)	27" × 29'	mai-august
Sagittarius	18,01	-24,4	M 8	30' × 60'	mai-august
Sagittarius	18,16	-18,4	M 24	4'	mai-august
e) Nebuloase extragalactice (galaxii)					
Andromeda	0,40	+41,0	M 31	160' × 40'	iunie-ianuarie
Triangulum	1,31	+39,4	M 33	60' × 40'	iulie-ianuarie
Canes Venatici	13,28	+47,5	M 51	12' × 6'	decembrie-august

Observație. În coloana a 4-a, litera M indică catalogul Messier, iar H catalogul Herschel. În ultima coloană, luna trecută în paranteză indică timpul trecerii la meridianul superior la miezul nopții.

BIBLIOGRAFIE

1. Aghekian, T. A., *Stele, Galaxii, Metagalaxia* (traducere din I. rusă de I. Mihăilă), Editura Științifică, București, 1974.
2. Folescu, C., *Ce este Universul?*, Editura Albatros, București, 1988.
3. Mioc, V., Oproiu, T., *Rachete spațiale*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1978.
4. Popovici, C., Stănilă, G., Țifrea, E., Zăgănescu, F., *Dicționar de astronomie și Astronautică*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1977.
5. Scurtu, V., *În căutarea astrilor*, Editura Albatros, București, 1986.
6. Stănilă, G., *Sisteme calendaristice*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1980.
7. Teodorescu, N., Chiș Gh., *Cerul — o taină descifrată*, Editura Albatros, București, 1982.
8. Todoran, I., *Explozii în Univers*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1979.
9. Țifrea, E., *Soarele*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1978.
10. Ureche, V., *Astrofizica — azi*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1978.
11. Csaba, Gy., Marik, M., Racsó, Gy., *Iffjú csillagászok kézikönyve, (Cartea tinerilor astronomi)*, Tankönyvkiadó Bpest, 1991.
12. Lindner, K., *Astroführer*, Urania, Leipzig, 1986.

CUPRINSUL

	Pag.		Pag.
Introducere		Capitolul V	
1. Obiectul astronomiei	3	Determinarea distanțelor cerești	40
2. Structura Universului	3	Exerciții	44
Capitolul I		Capitolul VI	
Sfera cerească și rotația ei		Mișcarea planetelor	45
1. Sfera cerească	7	1. Mișcarea aparentă a planetelor și explicarea acestei mișcări	
2. Coordonate cerești	9	2. Lupta pentru sistemul heliocentric	48
3. Relații simple între coordonate	12	3. Mișcarea reală a planetelor	49
4. Orientarea cu ajutorul astrilor	13	4. Legea atracției universale	51
Exerciții	14	5. Probleme de mecanică cerească	53
Capitolul II		6. Descoperirea planetelor Neptun și Pluton	55
Pământul		7. Alte consecințe ale perturbațiilor	55
1. Forma Pământului și dimensiunile lui	15	8. Mișcarea Lunii: fazele ei	56
2. Coordonatele geografice și determinarea lor	17	9. Eclipsese	58
3. Mișcarea de rotație a Pământului	19	Exerciții	61
4. Interiorul și vîrsta Pământului .	22	Capitolul VII	
Exerciții	23	Metode și instrumente pentru studiul Universului	62
Capitolul III		Instrumentele optice	63
Mișcarea anuală aparentă a Soarelui și mișcarea reală a Pământului în jurul Soarelui		Metodele de cercetare ale astrofizicii	64
1. Mișcarea aparentă a Soarelui pe sfera cerească	24	Radioastronomia	67
2. Consecințele mișcării anuale aparente a Soarelui	25	Observatoare astronomice	69
3. Mișcarea de revoluție a Pământului	28	Capitolul VIII	
Exerciții	31	Soarele	
Capitolul IV		1. Metode de observare	70
Timpu și măsurarea lui	32	2. Distanța, dimensiunile și masa Soarelui	71
Serviciul orei: determinarea orei exacte	38	3. Observarea suprafeței solare	71
Exerciții	39	4. Constituția Soarelui Atmosfera solară	72
		5. Energia și temperatura Soarelui	74
		6. Interiorul Soarelui, originea energiei solare	75
		Exerciții	76

	Pag.
Capitolul IX	
Sistemul solar	
1. Planetele mari	77
2. Sateliții planetelor	86
3. Planetele mici	91
4. Cometele	92
5. Meteori și meteoriți	94
6. Materia interplanetară	96
Exerciții	96

Capitolul X

Stelele

1. Magnitudini, străluciri și temperaturi stelare	97
2. Clasificarea spectrală a stelelor	100
3. Stele duble și stele variabile	104
Exerciții	107

Capitolul XI

Sisteme stelare

1. Roiuri stelare	108
2. Nebuloasele și materia interstelară	109
3. Calea Lactee, Galaxia	112
4. Galaxii și roiuri de galaxii	113

	Pag.
Capitolul XII	
Originea și evoluția corpurilor cerești	
1. Originea sistemelor planetare	117
2. Evoluția stelelor	118

Capitolul XIII

Cercetarea directă a spațiului cosmic

1. Necesitatea cercetării directe a spațiului cosmic	121
2. Realizări obținute	122
3. Perspectivele cercetărilor în Cosmos	124

Răspunsuri și indicații	125
Lucrări practice de astronomie	127

Anexe

I. Valori numerice aproximative ale mărimilor importante astronomice	134
II. Alfabetul grec	135
III. Stele cu cele mai mari străluciri aparente	136
IV. Stele duble strălucitoare de culori diferite	137
V. Roiuri stelare, nebuloase galactice și extragalactice	137

Bibliografia	140
------------------------	-----

Coli de tipar: 9
Format: 16/70×100
Bun de tipar: 9.09.1991
Nr. plan: 37311. Ediție 1991

Tiparul executat la:
IMPRIMERIA „ARDEALUL” CLUJ
Municipiul Cluj, B-dul 22 Decembrie Nr. 146
ROMÂNIA
Comanda nr. 193